3 1761 09702199 2

Digitized by the Internet Archive
in 2014

https://archive.org/details/lafatigueintel00bine

LA FATIGUE
INTELLECTUELLE

Psych.
B612fa

BIBLIOTHÈQUE DE PÉDAGOGIE ET DE PSYCHOLOGIE

LA FATIGUE INTELLECTUELLE

PAR

A. BINET
Docteur ès sciences
Directeur du Laboratoire
de psychologie physiologique
de la Sorbonne.

ET

V. HENRI
Docteur en philosophie,
Secrétaire
de la rédaction de l'*Année psychologique*.

Avec 90 figures et 3 planches hors texte.

PARIS
LIBRAIRIE C. REINWALD
SCHLEICHER FRÈRES, ÉDITEURS
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

1898

Tous droits réservés.

96313
31/5/89

LA

FATIGUE INTELLECTUELLE

AVANT-PROPOS

La Bibliothèque de pédagogie et de psychologie que nous inaugurons aujourd'hui en publiant ce premier volume sur la *Fatigue intellectuelle*, est destinée à faire profiter la pédagogie des progrès récents de la psychologie expérimentale.

Ce n'est pas, à proprement parler, une réforme de la pédagogie ancienne qu'il faut tenter, mais la création d'une pédagogie nouvelle.

L'ancienne pédagogie, malgré de bonnes parties de détail, doit être complètement supprimée, car elle est affectée d'un vice radical : elle a été faite de chic, elle est le résultat d'idées préconçues, elle procède par affirmations gratuites, elle confond les démonstrations rigoureuses avec des citations littéraires, elle tranche les plus graves problèmes en invoquant la pensée d'autorités comme Quintilien et Bossuet, elle remplace les faits par des exhortations et des sermons ; le terme qui la caractérise le mieux est celui de *verbiage*.

La pédagogie nouvelle doit être fondée sur l'*observation* et sur l'*expérience*, elle doit être, avant tout, expérimentale. Nous n'entendons pas ici par expérience ce vague impressionisme des personnes qui ont beaucoup vu ; une étude

expérimentale, dans l'acception scientifique du mot, est celle qui contient des documents recueillis méthodiquement, et rapportés avec assez de détails et de précision pour qu'on puisse, avec ces documents, recommencer le travail de l'auteur, le vérifier, ou en tirer des conclusions qu'il n'a pas remarquées.

Les expériences de pédagogie psychologique peuvent être divisées en deux groupes : 1° celles qui sont faites dans les laboratoires de psychologie, et 2° celles qui sont faites dans les écoles.

En pédagogie ce sont surtout les expériences du deuxième groupe qui sont appréciées, mais il ne faut pas négliger pour cette raison les expériences de laboratoires. En effet, dans les laboratoires de psychologie on fait des recherches sur un petit nombre de personnes qui en général viennent au laboratoire pour apprendre la psychologie, et se prêtent par conséquent avec beaucoup de bonne volonté aux expériences. Avec ces personnes comme sujets, on peut faire des examens très minutieux, on peut étudier l'influence des différentes causes d'erreur, chercher si telle méthode peut donner quelque résultat ou non, essayer de nouvelles méthodes et les perfectionner de façon à les rendre pratiques et simples.

Ce sont en somme des recherches de méthodes ; elles sont en général très longues et très minutieuses, car d'une part on étudie des personnes patientes qui peuvent consacrer à la science plusieurs mois ; et d'autre part, ces sujets d'élite étant très peu nombreux, — six à dix en moyenne dans les laboratoires les plus fréquentés — on est obligé de répéter sur eux un très grand nombre de fois les mêmes expériences, pour être bien certain de ne pas commettre d'erreur. Il sort de ce long travail de préparation un plan de recherche pour les écoles, plan pratique où toutes les questions de méthode sont déjà élucidées, où les principaux points à traiter, ceux qui ont paru les plus importants, sont mis en pleine lumière.

La recherche commencée au laboratoire se poursuit donc dans les écoles ; elle prend, en changeant de milieu, un caractère tout différent. Remarquons d'abord qu'on transporte rarement dans les écoles les appareils compliqués qui servent au laboratoire ; l'instrumentation est réduite au maximum de simplicité, pour des raisons faciles à comprendre. Mais ce qui domine avant tout les recherches scolaires, c'est la rapidité d'exécution. Admis à faire des recherches sur des enfants qui sont envoyés à l'école uniquement pour s'instruire, et auxquels on ne doit pas faire perdre un temps précieux, le psychologue ne peut les traiter comme ces adultes bénévoles qu'on examine à loisir pendant plusieurs mois. Il faut apporter dans les écoles le moins possible de dérangement, ne pas y faire de bruit, ne pas gêner les cours spéciaux, ni indisposer le personnel enseignant qui ne comprend pas toujours la raison de ces recherches ; c'est avant tout affaire d'expérience et de tact. Du reste, une autre raison encore doit engager l'expérimentateur à se presser. Les élèves intéressés par une recherche qui débute donnent leur maximum d'attention ; mais bientôt ils deviennent distraits, et si l'expérience se prolonge, elle paraît monotone, ennuyeuse, et les élèves cherchent à s'y soustraire.

On fait les expériences scolaires de deux manières principales, collectivement ou individuellement : 1° collectivement ; on arrive dans la classe avec le directeur, on explique en quelques mots l'expérience à laquelle on va procéder, — épreuve de mémoire, par exemple, ou d'imagination — et on fait l'expérience sur-le-champ ; elle dure en moyenne un quart d'heure ; puis on fait ramasser les copies, et on se rend dans une autre classe pour recommencer. La leçon des élèves n'a été interrompue que pendant un quart d'heure ; nous pensons qu'une interruption aussi courte, surtout si elle ne se renouvelle pas plus de deux fois dans le cours d'un mois, n'apporte aucune espèce de trouble dans les études ; parfois même l'expérience est pour les

élèves un exercice de style ou d'écriture. Pendant cette interruption d'un quart d'heure, l'expérimentateur a pu rassembler une quarantaine de copies, qu'il examine à loisir après avoir quitté l'école, et dont il peut toujours tirer des conclusions instructives si l'expérience a été bien conçue ; 2° individuellement ; certaines recherches ne peuvent pas être faites collectivement, parce qu'elles exigent un examen individuel du sujet. Pour la mesure de la force musculaire, par exemple, et pour certaines expériences psychologiques de mémoire et de comparaison où il faut interroger le sujet et analyser ses réponses, on est obligé d'examiner chaque élève isolément. Un cabinet isolé, le plus souvent le cabinet du directeur, est mis à la disposition de l'expérimentateur ; les élèves y sont appelés un par un, ou deux par deux, ou par groupes plus importants, suivant les convenances ; quand l'examen d'un élève est terminé, il rentre en classe, et il est remplacé par un camarade, d'après un roulement convenu d'avance avec le professeur. Comme l'examen de chaque élève ne se prolonge jamais au delà de cinq à dix minutes, c'est pour lui une perte de temps insignifiante, d'autant plus insignifiante que cet examen ne se renouvelle guère souvent ; et quant au cours de la leçon, il ne peut être troublé par la sortie de deux ou trois élèves.

En somme, les expériences de pédagogie que l'on fait dans les écoles prennent peu de temps aux élèves, elles n'apportent aucun trouble dans l'ordre des études ; et si l'on songe qu'il suffirait de faire chaque mois une expérience d'un quart d'heure sur chaque élève, en comprenant dans cette recherche une dizaine d'écoles et de lycées, pour résoudre pratiquement un grand nombre de questions pédagogiques de la plus haute importance qui sont encore discutées, il semble que l'Administration devrait encourager de tout son pouvoir des recherches de ce genre, en les confiant surtout à des savants exercés.

En France, nous avons le regret de le constater, l'Admi-

nistration se montre généralement peu disposée à accorder des autorisations de ce genre, bien qu'elle se rende bien compte qu'il s'agit de recherches inoffensives, et véritablement pédagogiques, n'ayant rien de commun avec les pratiques de la suggestion et de l'hypnotisme ; mais dans les autres pays, notamment en Allemagne, en Amérique, en Suède, en Danemark, ces autorisations de faire de la pédagogie expérimentale sont très libéralement accordées aux personnes compétentes, et la plupart des travaux que nous possédons actuellement ont été faits dans ces pays étrangers. Il y a plus. A plusieurs occasions, c'est l'Administration qui dans les pays étrangers a pris l'initiative des recherches expérimentales dans les écoles ; quand une question de pédagogie pratique se présentait, l'Administration s'est adressée aux psychologues en les invitant à faire des recherches sur cette question ; et en même temps, les portes des écoles leur étaient ouvertes et les élèves des écoles étaient soumis à leur examen. C'est ainsi qu'il y a un an à peine, les magistrats de la ville de Breslau, anxieux de savoir si les programmes d'enseignement dans les écoles et lycées de la ville n'étaient pas exagérés et ne produisaient pas un surmenage intellectuel parmi les élèves, chargèrent officiellement un psychologue de rechercher quel est le degré de fatigue intellectuelle éprouvé par les élèves des différentes classes à la fin de leur journée de travail.

En fondant notre Bibliothèque de pédagogie et de psychologie nous espérons démontrer la nécessité de l'expérimentation pour la pédagogie. Notre premier volume est consacré à la *Fatigue intellectuelle ;* dans ce volume nous avons réuni tout ce qui a été fait sur la question de l'influence produite par le travail intellectuel sur l'organisme et sur différentes fonctions psychiques ; nous montrons que la question du surmenage scolaire, tant débattue et par les pédagogues et par les médecins, est loin d'être résolue. On se trouve en réalité bien plus loin du but qu'on ne croyait l'être il y a

une dizaine d'années ; c'est que l'on a fait depuis cette époque des recherches qui ont permis de comprendre exactement les difficultés de la question et de voir toutes les complications qu'elle présente.

Nous montrons de plus dans notre premier volume que si la question du surmenage n'est pas encore résolue à l'époque actuelle, il existe déjà des méthodes permettant d'étudier expérimentalement les effets de la fatigue intellectuelle, ce qui est un espoir pour l'avenir.

Dans les volumes qui suivront nous passerons en revue les différentes questions de la pédagogie en nous servant toujours de la méthode expérimentale. Le deuxième volume, qui est en préparation, traite de l'*Éducation de la mémoire*.

CHAPITRE PREMIER

LA DISCUSSION SUR LE SURMENAGE

A L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

En 1886 et en 1887, l'Académie de médecine de Paris fut saisie par un de ses membres, le Dr Lagneau [1], d'une question qui à cette époque provoquait une vive discussion dans la presse : la question du surmenage intellectuel.

De mai à août 1887, l'Académie de médecine maintint cette question à l'ordre du jour ; et, comme c'est l'usage, une commission fut nommée, un des membres de la commission fit un rapport, et les conclusions de ce rapport, après avoir été discutées et votées, furent envoyées au ministre de l'Instruction publique.

Nous pensons qu'il est utile de résumer et de discuter ici des arguments qui furent présentés à cette époque pour ou contre le surmenage intellectuel. Ce sera la meilleure introduction à nos propres études.

Définissons d'abord le problème qu'il s'agit de résoudre, et qui fera le sujet de notre livre. Nous n'avons nullement l'intention d'étudier la fatigue et le surmenage chez les adultes, savants, artistes ou hommes de lettres ; de montrer quelles maladies il engendre et quelles précautions on doit prendre pour arrêter le mal aux premiers symptômes. Ce sont là des questions d'hygiène privée, qui ont

[1] *Bulletins de l'Académie de Médecine*, séance du 27 avril 1886, p. 391. Paris, Masson.

été traitées avec tous les développements nécessaires, par Tissot d'abord, puis par Réveillé-Parise et beaucoup d'autres auteurs. Nous nous mettons ici au point de vue de la pédagogie ; nous examinons la fatigue chez les enfants et les jeunes gens, la fatigue qui se produit à l'école et qui résulte des travaux intellectuels imposés aux élèves par les programmes d'enseignement et d'examen. Même après avoir reçu cette limitation, le problème reste encore très vaste, et c'est un des plus importants qu'on puisse se poser, car une foule d'autres problèmes scolaires en dépendent ; par exemple l'étendue des programmes d'enseignement et d'examen, la limite d'âge pour les admissions à certaines écoles et à certains examens, la réglementation du travail dans les écoles et les lycées, la distribution des heures de classe, de récréation, de gymnastique et de sommeil.

Le point de savoir si, dans un cas donné, les enfants et jeunes gens éprouvent de la fatigue après la classe du soir ou après les examens, et si cette fatigue est insignifiante ou si elle est assez forte, ou trop forte et par conséquent dangereuse, tout cela est une question de fait, et doit être résolu par la méthode expérimentale. Le seul moyen de se rendre compte de la fatigue des élèves est d'aller dans les écoles pour voir les élèves et les soumettre à des épreuves capables de déceler la fatigue mentale et d'en mesurer le degré. Il nous semble qu'en avançant cette proposition, nous formulons une simple vérité de bon sens, une vérité si évidente que toute personne doit l'admettre.

Examinons comment l'Académie de médecine envisagea la question. Elle en avait été saisie, avons-nous dit, par l'opinion publique ; un cri d'alarme avait été poussé par la presse scientifique et autre ; on accusait l'école et les nouveaux programmes de provoquer chez les enfants le « surmenage intellectuel », mot emprunté à la médecine vétérinaire, et qui, appliqué aux élèves des écoles, signifiait une fatigue très grave, une fatigue vraiment pathologique, pré-

parant le terrain à des maladies redoutables, comme la phtisie et la fièvre typhoïde.

Nous n'avons pas eu le plaisir d'assister aux débats de la docte assemblée ; mais nous avons lu avec soin dans les bulletins de l'Académie le compte rendu des séances ; ce compte rendu est aussi complet que celui d'une séance à la Chambre des députés; il reproduit intégralement les discours, l'allure des discussions, avec les réponses, les répliques, les échanges de mots vifs, les questions personnelles, les ergoteries sur les phrases d'une conclusion que l'on met aux voix; tout y est, même les applaudissements qui soulignent la phase finale de chaque discours. Un grand nombre de médecins prirent part aux débats : ce sont Lagneau, Dujardin-Beaumetz, Ferréol, Javal, Perrin, Lacaze-Duthiers, Collin d'Alfort, Peter, Hardy, Brouardel, Lancereaux, Rochard, Marc Sée.

La discussion s'ouvrit en 1886 par des communications de Lagneau et de Dujardin-Beaumetz ; mais le débat ne prit tout son développement que l'année suivante ; il remplit huit séances, depuis le 17 mai jusqu'au 9 août. Les orateurs ne se cantonnèrent pas, cela va sans dire, dans la question à l'ordre du jour ; le thème général des développements était le surmenage intellectuel ; mais chemin faisant, on rencontra beaucoup d'autres questions, dont les unes se rattachent au surmenage intellectuel, tandis que d'autres y sont complètement étrangères ; ainsi, on parla de la *sédentarité*, de l'hygiène dans les grandes agglomérations urbaines ; on parla aussi des matières enseignées dans les écoles et les lycées ; on discuta la question de savoir s'il faut enseigner le grec, et s'il ne faudrait pas supprimer l'histoire naturelle, ou s'il ne serait pas utile de modifier le programme du baccalaureat ès sciences complet. Nous ne comprenons pas très exactement comment les très honorables médecins formant l'Académie de médecine, comme Hardy et Ferréol, avaient la compétence nécessaire pour trancher ces questions d'enseignement.

Négligeons ces parties accessoires où la discussion semble avoir un peu dévié.

Le premier point de fait à résoudre, celui qui dominait tous les autres, celui qu'il fallait par conséquent examiner avec le plus grand soin, était de savoir si bien réellement, en 1887, les élèves des écoles et lycées étaient surmenés par les programmes d'enseignement et d'examen. En relisant avec soin toutes les discussions, pour rechercher cette preuve de fait, on est un peu surpris de ne rien rencontrer de bien positif.

Presque tous les médecins qui ont pris la parole ont admis implicitement ou ont affirmé que les enfants des écoles sont surmenés et qu'il faut faire quelque chose pour eux. C'était, semble-t-il, une affaire convenue. On n'a pas discuté cela comme un point de fait ; on n'a pas établi de distinction entre les écoles ; on n'a pas dit : les enfants sont surmenés à l'école de la rue de Jouy, ils ne le sont pas au lycée Louis-le-Grand, etc.

Du reste, la plupart de ceux qui ont contesté le surmenage se sont contentés aussi d'invoquer leur conviction personnelle, sans donner de preuves à l'appui.

Un autre moyen de persuasion qui a été beaucoup employé est l'épithète, l'expression pittoresque.

En parlant des enfants des écoles, un orateur les désignait toujours par le nom de *victimes scolaires ;* on les appelait aussi des *amputés de l'intelligence*, des *forts en thème tuberculeux*, des *condamnés aux travaux forcés ;* l'enseignement de l'Université était un enseignement *homicide*. Parlant d'une école normale d'institutrices, Peter disait : « Nous avons nos femmes savantes, mais avec la fièvre typhoïde en plus. » Le même orateur demandait une loi Rousselle pour protéger les enfants contre le surmenage. Dans un de ses discours, il trouva un bel effet oratoire en disant : « J'ai eu le bonheur, étant petit enfant, d'être trop pauvre pour être mis au collège, — j'en serais mort. » C'est encore lui qui a créé une espèce nosologique

nouvelle, la céphalalgie scolaire. Nous insistons quelque peu sur ces procédés de discussion, parce qu'ils n'ont pas servi d'accessoires, et qu'ils ont fait véritablement le fond de beaucoup de discours ; une conviction très vive et quelques images très saisissantes sur les effets du surmenage, c'en était assez pour composer un discours applaudi.

On a ensuite fait le procès des programmes d'enseignement; on les a accusés d'être disproportionnés, encyclopédiques; on a énuméré avec complaisance les titres des matières enseignées, en supposant trouver dans cette énumération une preuve de la surcharge intellectuelle qui serait imposée aux élèves. Il n'est pas douteux que ce procédé permet d'arriver facilement à de bons effets oratoires. « Qu'on jette un coup d'œil, s'écrie Dujardin-Beaumetz[1], sur les programmes des cours primaires des jeunes filles professés rue de Jouy, et l'on verra qu'outre l'histoire, la géographie, la langue française, l'arithmétique, l'on y enseigne la psychologie, le droit commercial, la philosophie historique, l'économie politique, l'instruction morale et physique, le droit usuel, les sciences physiques, technologie, cosmographie, chimie, physique, toutes les sciences naturelles, etc., etc.; et, dans ce programme, je ne compte pas l'enseignement du dessin, qui comprend six variétés : celui d'ornement, d'art, d'académie, de modes, industriel, linéaire ; plus le chant, la gymnastique, les langues étrangères, la coupe et la couture, la lecture, etc. »

Il a semblé à l'orateur que ce programme suffisait pour prouver le surmenage; mais, à la réflexion, que de critiques ne pourrait-on pas faire à cette manière de raisonner! Que signifie le simple titre d'une matière d'études? Que prouve-t-on en disant : on enseigne la physique? C'est parler pour ne rien dire, car il y a trente-six façons d'enseigner la physique, depuis la plus élémentaire jusqu'à la plus approfondie; et il en est de même pour tout le reste.

[1] Séance du 21 juin 1887, p. 684.

En outre, quand même on saurait bien exactement ce qu'un programme comporte de travail intellectuel, quelle conclusion pourrait-on en tirer ? Il ne suffit pas de connaître le travail intellectuel fourni par une personne pour savoir si elle est surmenée ou non ; il faut en outre connaître ses capacités de travail ; sans cela toute la série de raisonnements reste théorique.

A la critique des programmes, on peut rattacher la critique de la durée des classes ; ce sont des argumentations qui ont exactement la même valeur. Dujardin-Beaumetz rapporte que, dans les écoles primaires élémentaires, fréquentées par des enfants de six à douze ans, les classes durent sept heures par jour ; et il trouve que c'est trop. Un autre orateur affirme que les enfants peuvent supporter vingt heures de classe par semaine, et pas davantage. On cite l'exemple des étrangers, des ouvriers. On plaide pour l'adoption de la règle américaine des trois 8 (8 heures de sommeil, + 8 heures de travail, + 8 heures de liberté = 24 heures). « Un jeune homme de vingt ans bien doué, affirme Dally, ne peut pas travailler avec attention, c'est-à-dire avec profit, plus de huit heures. » Si raisonnables que paraissent ces idées, il ne faut pas oublier que ce sont des raisonnements *a priori*. Sans données expérimentales sur les facultés de travail des enfants, on ne peut rien conclure de certain, et ces données expérimentales nous font encore complètement défaut.

Aussi ne pouvons-nous souscrire au rapport de la commission qui déclare que « le travail intellectuel sédentaire, de huit à vingt ans, ne doit pas être de plus de trois à huit heures. Si le travail intellectuel excède cette durée quotidienne, il devient fatigant et profite peu à l'instruction ». Ce n'est là qu'une règle arbitraire, qui manque de fondement. « La durée des classes, continue le rapporteur, de vingt à trente minutes pour les enfants, ne doit pas excéder une heure ou une heure et quart pour les jeunes gens. » Nouvelle affirmation gratuite, que rien ne justifie.

Il se peut que le rapporteur soit tombé juste, mais ce serait tout à fait par hasard, car les idées préconçues et le bon sens ne peuvent pas remplacer la recherche expérimentale. Et du reste, à l'affirmation du rapporteur, on pourrait tout aussi bien opposer l'affirmation de Berthelot, disant[1] : « ... le nombre d'heures consacrées aujourd'hui aux classes et aux études n'a rien d'excessif... ». Une des affirmations vaut l'autre, ou plutôt elles ne comptent pas plus l'une que l'autre.

Beaucoup d'orateurs ont cru traiter la question du surmenage en parlant de l'encombrement des carrières libérales, qui est en effet une des plaies de notre époque. Ils mettent en parallèle le nombre de candidats et le nombre d'admis, et comme la disproportion entre ces deux nombres est fantastique, il est naturel de déplorer cette dépense bien inutile de force intellectuelle : mais ce n'est pas la question du surmenage. Voici quelques-uns des documents produits aux débats; par eux-mêmes ils sont bien instructifs :

« En 1887, la direction de l'enseignement primaire n'a pu disposer que de 115 nominations, 55 pour les hommes et 60 pour les femmes. Or, pour ces 115 places, il y avait 7.000 postulants. Et encore, de ces 115 places, il en est pris déjà, par les élèves des écoles normales d'instituteurs et d'institutrices : 40 pour les hommes et 25 pour les femmes, et enfin pour les suppléants et suppléantes. Il en est de même pour les 20.000 postulants des autres départements.

« Dans l'enseignement secondaire, le nombre des licenciés des deux sexes et celui des concurrents à la licence augmentent chaque année, et en disproportion absolue avec le nombre des places disponibles.

« Cette multiplicité de concurrents a pour conséquence fatale d'exagérer les programmes, pour rendre l'obtention du titre plus difficile : de là le surmenage intellectuel.

[1] *Le Temps*, 26 octobre 1888.

« Pour l'enseignement primaire, près de 30.000 individus, après avoir obtenu leurs titres et leurs brevets, réclament des places, et le plus grand nombre échouent. »

On comprend par cette citation l'espèce d'association d'idées qui est suivie par les orateurs : concurrence énorme ; cette concurrence excite l'émulation ; cette émulation devient effrénée, désespérée... on ne ménage pas ses forces, on se surmène. Au point de vue logique, il n'y a rien à dire contre ce raisonnement, qui est très correct. Mais combien il serait préférable d'avoir une bonne statistique, ou une sérieuse étude expérimentale !

Il s'est souvent produit dans les idées d'un même orateur une contradiction dont il ne s'apercevait pas : d'une part, il déplorait le nombre immense et disproportionné des candidats aux examens, car de cette concurrence peut sortir le surmenage ; d'autre part, il déplorait en termes non moins vifs la difficulté des examens et l'étendue des programmes. Cependant il nous semble que ce sont là deux termes qui se tiennent. Si on rend les programmes plus faciles, le nombre des candidats augmentera, et alors on sera bien obligé, pour choisir entre eux, d'augmenter la difficulté des épreuves. Javal a dit spirituellement à ce propos : « A supposer qu'on ne demande que l'arithmétique pour l'admission à l'École polytechnique, comme il y aura le même nombre de candidats, ils auront besoin de travailler tout autant que par le passé pour devenir les plus forts en arithmétique [1]. »

Si les arguments développés à l'Académie de médecine se réduisaient à ceux que nous avons exposés jusqu'ici, les débats auraient eu peu de portée et auraient ressemblé à une joute littéraire plutôt qu'à une discussion scientifique. Il nous reste à parler des documents les plus sérieux et les plus importants qui ont été produits : ce sont les cas pathologiques.

[1] Séance du 2 août 1897, p. 211.

Pour montrer les effets funestes du surmenage, plusieurs médecins ont rapporté les observations les plus frappantes de maladies souvent mortelles qu'ils ont recueillies dans leur clientèle ; il s'agit dans ces observations, non pas d'écoliers suivant régulièrement les cours d'une école ou d'un lycée, mais de jeunes gens se préparant à des examens difficiles, par exemple pour l'admission à des écoles du gouvernement.

Cette matière a été traitée de deux façons ; certains orateurs ont apporté des statistiques, d'autres ont eu des observations personnelles. Nous devons traiter distinctement ces deux formes de la méthode pathologique.

1° Lagneau et Dujardin-Beaumetz sont ceux qui ont le plus demandé à la statistique. Le discours de Lagneau contient une énumération soigneuse de tous les troubles pathologiques qui ont été observés dans les écoles ; l'auteur les attribue à plusieurs causes, la sédentarité, les positions vicieuses et le surmenage. Nous extrayons de son rapport ce qui a trait à ce dernier point[1].

« Des lésions dentaires, particulièrement la périostite alvéolo-dentaire, fréquemment observée chez les jeunes gens au moment de la préparation de concours, d'examens, coïncident *souvent* avec ces troubles digestifs, et sont surtout attribuables à l'état d'hyperhémie céphalique, déterminé par une contention intellectuelle *trop forte* et *trop prolongée*.

« Dans les lycées d'internes, dans les écoles spéciales d'instituteurs, lorsque sévissent des maladies épidémiques déjà favorisées par l'encombrement humain, la surcharge intellectuelle, déprimant l'organisme, *prédispose* aux atteintes de ces maladies.

« La phtisie, qui se montre si fréquemment parmi les habitants sédentaires des villes, se manifeste *trop souvent* chez nos jeunes gens les plus studieux, qui, toujours pen-

[1] Séance du 17 mai 1887.

chés sur leur table, ne respirent qu'incomplètement. A cette cruelle maladie, contractée lors des fatigues de la préparation du concours de prix ou d'examens, succombent, quelques années plus tard, *bien* des lauréats, *bien* des élèves des écoles spéciales.

« Des troubles nerveux, céphalalgie, hyperesthésie, neurasthénie, lenteur intellectuelle, altération profonde des facultés cérébrales, sont *trop souvent* la conséquence de la surcharge, de la contention intellectuelle prématurée, excessive et prolongée, à laquelle se soumettent des jeunes gens en vue de concours, des élèves des écoles spéciales, des instituteurs, des institutrices.

« Les infirmités en général se montrent en proportion plus élevée chez les garçons et les filles des écoles supérieures, chez les jeunes gens instruits que chez les autres jeunes gens [1]. »

Quelle conclusion pratique pourrait-on donc tirer d'un rapport où dominent les *trop souvent* et les *bien des cas?* Une fois sur mille, est-ce trop souvent? Bien des cas, cela veut-il dire dans la moitié des cas? On peut soupçonner que ces expressions vagues ont été employées par un rapporteur qui ne voulait pas se compromettre en avouant son ignorance, car il n'avait pas fait une étude méthodique de la question.

La statistique a été invoquée avec plus de précision, par Lancereaux et Marc Sée, médecins de lycées, qui après avoir compulsé les registres où sont inscrites les maladies graves ou légères qui amènent à l'infirmerie les pensionnaires de ces établissements, déclarent n'avoir rencontré sur ces registres aucune maladie imputable au surmenage :

« Mon attention, dit Marc Sée, s'est arrêtée particulièrement sur les derniers mois de l'année scolaire, ceux qui précèdent les concours, pendant lesquels l'ardeur des bons

[1] *Académie de médecine*, séance du 17 mai 1887.

sujets se surexcite parfois à un degré extraordinaire. Eh bien, même alors, les effets du surmenage ne se manifestent nulle part. Ce qu'on observe, en dehors de quelques légers traumatismes, ce sont des rhumes, des bronchites, des angines, des douleurs rhumatismales, des fièvres éruptives, des fièvres muqueuses, devenues excessivement rares depuis ces dernières années, etc., etc., des affections, en un mot, qui n'ont aucun lien de parenté avec le surmenage intellectuel. J'ai rencontré aussi, il est vrai, quelques cas de céphalalgie ; mais ils étaient tous sans gravité et n'avaient retenu les élèves à l'infirmerie qu'un ou deux jours, plusieurs fois une demi-journée seulement. De telles indispositions s'observent chez tous les jeunes gens et ne sont nullement imputables à un travail intellectuel forcé. »

Lancereaux dit de même [1] :

« Désirant me rendre compte du degré de fréquence de la tuberculose, de celle des centres nerveux en particulier, dans le lycée auquel je suis attaché, j'ai demandé le relevé des principales maladies qui y ont été soignées depuis vingt ans. Or, dans ce lycée, qui prépare spécialement à l'École normale et à l'École polytechnique, où, par conséquent, le cerveau des élèves est surexcité par le travail, savez-vous combien de cas de méningite ont été observés, depuis cette époque, sur un personnel de cinq cent cinquante à six cent quatre-vingts internes? Un seul. Pendant la même période de temps, sept élèves ont été atteints d'hémoptysie, mais sur ces sept, six accusaient des antécédents tuberculeux. Ajoutons qu'un créole est retourné dans son pays où il est mort de phtisie. On compte en outre, dans cet établissement, pour le même nombre d'années, quarante cas de fièvre typhoïde, déclarés presque uniquement chez les jeunes gens venus depuis quelques mois seulement au lycée, pour terminer leurs études. Ce chiffre est relativement peu élevé, vu surtout les graves épidémies

[1] Séance du 19 juillet, p. 91.

qui ont sévi dans la capitale pendant ces dernières années, et on admettra avec moi que la santé de nos lycéens est moins menacée qu'on ne paraît le croire. »

Ces statistiques sont certainement plus probantes que les énumérations vagues de Lagneau; elles ne sont pas cependant satisfaisantes : car d'une part il est possible que beaucoup d'enfants et de jeunes gens soient réellement surmenés, éprouvent une fatigue très forte, dangereuse, et n'aillent pas à l'infirmerie, par conséquent ne figurent pas sur les registres des malades; d'autre part, on doit admettre comme possible que des maladies d'épuisement peuvent naître au lycée et n'éclater que plus tard, quand les enfants sont revenus dans leurs familles; dans le second cas, comme dans le premier, les registres de maladie seront muets.

Enfin, il faut bien savoir que la méthode pathologique ne peut indiquer que les excès considérables de fatigue, elle ne donne pas la mesure de la fatigue.

2° Les observations particulières de maladies survenues à la suite de travaux intellectuels excessifs ont quelque chose de plus éloquent que les froides statistiques. Peter est l'orateur qui a versé dans le débat le plus grand nombre de documents de ce genre, et il les a commentés avec une verve extraordinaire. Voici deux de ses observations, choisies parmi les meilleures. La première est celle d'une jeune fille. La mère de cette jeune *victime* du surmenage intellectuel écrit ceci :

« Voici comment la maladie de ma fille a commencé : il lui restait trois mois encore pour terminer sa dernière année d'études (1884) quand elle fut prise de violents maux de tête et de forts saignements de nez, bientôt accompagnés de fièvre. L'appétit et le sommeil avaient disparu.

« Le médecin du couvent craignait une fièvre typhoïde (et je me permets ici de dire que cette crainte était très naturelle, de tels accidents ressemblant à ceux de la fièvre typhoïde, à cela près de la brusque hyperthermie).

« Après huit jours les saignements de nez et la fièvre avaient diminué. Le médecin était d'avis que ma fille prît quelques jours de repos. Mais après ces quinze jours de vacances les maux de tête continuaient et tout travail était impossible.

« L'infirmière ainsi que la supérieure me conseillèrent d'emmener ma fille jusqu'à la fin des grandes vacances, ce qui faisait *quatre mois de repos;* repos que ces dames savaient nécessaire, car le cas s'était présenté plusieurs fois déjà parmi leurs pensionnaires.

« Le médecin a conseillé pour ma fille l'air des montagnes ; nous avons passé ces quatre mois en Suisse, où les maux de tête ont toujours continué par accès avec de fortes courbatures de tout le corps. C'est au retour de ce voyage que, ne voyant aucune amélioration, je suis venue vous consulter. Le mal n'était jamais général ; elle souffrait plus fortement tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, en contournant irrégulièrement le tour de la tête. Tout travail de la tête, lecture ou autre, lui occasionnait des douleurs insupportables. »

Seconde observation : il s'agit d'un « jeune homme des plus robustes, né à Beaune, de parents vigoureux qui sont actuellement pleins de santé, ayant une sœur également bien portante, mais qui est restée avec ses parents dans sa ville natale.

« Le jeune homme, lui, s'est tuberculisé à Paris, dans les conditions suivantes : il travaillait chaque jour de six heures du matin à dix heures du soir, avec un répit de deux heures, dont une partie était consacrée à la « réfection corporelle », comme dit Rabelais. C'est-à-dire que ce jeune homme travaillait quatorze heures par jour dans sa petite chambre de l'École normale, immobile, lui bien musclé, et à la portion congrue d'un air confiné, lui de souche campagnarde. »

Il est utile de publier ces documents. Ce sont des démonstrations frappantes des effets produits par les excès in-

tellectuels ; et il est bon qu'on puisse, au besoin, faire lire ces observations aux jeunes gens imprudents, pour leur donner la sensation du danger auquel ils s'exposent, en faisant des excès de travail intellectuel. Pour beaucoup, ces observations seront un avertissement salutaire.

Maintenant il convient d'ajouter que ces faits si graves doivent être discutés sérieusement; on ne peut accorder de créance à ceux qui sont rapportés de troisième main, encore moins à ceux qui se réduisent à des on dit et à des anecdotes ou à des lettres écrites par des malades que personne n'a jamais vus. Un travail de critique doit se faire pour séparer les faits précis, authentiques, et les légendes si fréquentes en médecine. Enfin, même en restant sur le terrain médical, il faut bien avouer que l'observation la mieux prise, la plus topique, doit être interprétée, et on ne peut pas attribuer un désordre pathologique quelconque à un surmenage intellectuel avant d'avoir démontré la réalité de ce rapport de cause à effet. La discussion à l'Académie de médecine a montré que dans certains cas on a attribué à la fatigue cérébrale un état morbide produit par la présence d'un tænia dans l'intestin (Javal) ou par un vice de conformation de l'œil (Perrin). De plus il ne faut pas oublier, comme Lancereaux l'a bien montré, que certains désordres pathologiques proviennent d'influences héréditaires ou de mauvaises conditions hygiéniques qui n'ont rien à voir avec le surmenage.

Les discussions qui ont été établies sur ce point à l'Académie de médecine nous semblent avoir prouvé que les cas de méningite, de fièvre typhoïde et de tuberculose qu'on a attribués au surmenage sont des cas individuels, trop rares et trop spéciaux pour servir de base à une réglementation générale.

Après avoir beaucoup réfléchi à ce sujet, nous sommes d'avis que la méthode pathologique ne peut servir à élucider la question du surmenage intellectuel.

La réglementation des heures de classe, de repos et de

sommeil, et de la durée de l'effort intellectuel que l'on demande aux écoliers ne pourrait être faite qu'arbitrairement, en se servant des cas de maladies. De ce qu'un individu a succombé à la fièvre typhoïde après un examen difficile qui l'avait surmené, nous ne voyons aucune conclusion pratique à tirer pour la réglementation de cet examen. La maladie et la mort d'un condisciple surmené peut être un salutaire exemple pour les autres, exemple qui devra surtout être médité par ceux qui ont une constitution délicate ou des prédispositions héréditaires. Mais du moment qu'on ignore généralement l'état des forces de l'individu qui a succombé, on ne peut pas savoir si sa constitution personnelle n'était pas responsable de sa mort; de plus, on ignore quelle quantité de travail intellectuel il a produit, comment il s'est préparé à l'examen, quelle dose de connaissances il avait déjà avant de concourir; et ce serait une perte de temps de chercher à préciser tous ces petits faits, qui le plus souvent échappent à l'investigation. La pédagogie a bien peu de chose à attendre de ces cas exceptionnels, d'autant plus qu'on en ignore le plus souvent la fréquence. La répétition de ces accidents dans une école ou au lendemain d'un examen doit être un avertissement pour les pouvoirs publics; c'est un signe qui indique la nécessité d'une revision des programmes; mais l'étude de ces accidents eux-mêmes ne peut servir de base à une réforme.

Nous sommes donc conduit tout naturellement, en finissant cette étude, à regretter que l'Académie de médecine se soit bornée à un échange d'opinions sur le surmenage, et qu'elle n'ait pas eu l'idée bien simple de résoudre la question qu'elle agitait, en faisant un appel à la seule méthode qui pouvait donner une solution : la méthode expérimentale. Pour savoir quel degré de fatigue et de surmenage était provoqué chez les enfants et les adultes par des programmes d'enseignement et d'examen dans les écoles, il fallait nommer une commission chargée de mesurer cette fatigue et

ce surmenage. Aucune théorie, aucun raisonnement ne valent des faits bien observés. Aussi l'Académie de médecine, en voulant absolument s'en tenir à la théorie, n'a-t-elle pas pu aboutir, et les conclusions qu'elle a votées pour clore ses débats sont remarquables par leur défaut de précision; elles sont tout à fait typiques; donnons-les comme exemple d'une vieille méthode qui, espérons-le, paraîtra bientôt aussi fausse que démodée. Voici ces conclusions :

« L'Académie de médecine appelle l'attention des pouvoirs publics sur la nécessité de modifier, conformément aux lois de l'hygiène et aux exigences du développement physique des enfants et des adolescents, le régime actuel de nos établissements scolaires.

« Elle pense :

« 1° Que les collèges et lycées pour élèves internes doivent être installés à la campagne;

« 2° Que de larges espaces bien exposés doivent être réservés pour les récréations;

« 3° Que les salles de classes doivent être améliorées au point de vue de l'éclairage et de l'aération.

« Sans s'occuper des programmes d'études, dont elle désire d'ailleurs la simplification, l'Académie insiste particulièrement sur les points suivants :

« 1° Accroissement de la durée du sommeil pour les jeunes enfants;

« 2° Pour tous les élèves, diminution du temps consacré aux études et aux classes, c'est-à-dire à la vie sédentaire, et augmentation proportionnelle du temps des récréations et exercices;

« 3° Nécessité impérieuse de soumettre tous les élèves à des exercices quotidiens d'entraînement physique proportionnés à leur âge (marches, courses, sauts, formations, développements, mouvements réglés et prescrits, gymnastique avec appareils, escrime de tous genres, jeux de force, etc.). »

Il n'y a rien à retenir de formules aussi vagues que celle

de « simplification des programmes » ou « diminution du temps des classes ». Ces mesures ne sont pas plus justifiées que précisées; et nous pensons que si la discussion était née au sujet de la faiblesse des études au lieu d'être provoquée par le surmenage, l'Académie aurait pu voter, avec aussi peu de motifs, des conclusions pour « le relèvement des programmes » et « l'augmentation des heures de classe ».

Ce que l'Académie de médecine n'a pas pu faire, la science impersonnelle est en train de le faire en ce moment. Pendant ces dix dernières années, des hommes de science ont étudié dans le laboratoire et aussi dans les écoles les effets du travail intellectuel sur l'esprit et sur le corps. Ces recherches ont eu lieu et se poursuivent encore dans tous les pays, et surtout en Allemagne. On est dans la bonne voie, car ce sont des études rigoureusement expérimentales. On ne discute pas des théories, on observe, on mesure, on pèse. On choisit comme objet d'expérimentation un travail intellectuel quelconque, par exemple le calcul mental ou des additions, et on recherche quelle est l'influence que cette contention d'esprit a produite dans les fonctions organiques de l'individu ou dans ses fonctions intellectuelles; ou bien on expérimente dans les écoles, ce qui est une nouveauté pour la psychologie; on recherche sur des écoliers quels sont les effets produits par la classe du matin ou par la classe du soir, ou par une leçon de gymnastique. Nous possédons aujourd'hui de précieuses monographies; elles ne nous donnent pas encore une connaissance complète du sujet, car toute recherche expérimentale est lente et longtemps partielle; mais on sait déjà qu'il existe des méthodes capables de constater la fatigue intellectuelle et dans des cas où l'observation directe n'apprend rien. Nous allons exposer ces différents travaux, en insistant particulièrement sur les méthodes.

CHAPITRE II

DÉFINITION DU TRAVAIL INTELLECTUEL

Puisque ce livre a pour objet de décrire et d'analyser les effets du travail intellectuel, nous devons d'abord définir le travail intellectuel. Les mots changent de sens suivant les gens qui les emploient et suivant les matières auxquelles on les applique. En psychologie le terme de travail intellectuel, comme celui d'intelligence, a une signification très vague. Nous ne devons pas envisager la question au point de vue spécial de la psychologie, et chercher à tenir compte du rôle joué par les différentes facultés intellectuelles, comme la mémoire, l'attention, etc. Notre point de vue actuel est celui de la pédagogie ; aussi devons-nous comprendre par travail intellectuel toute espèce de travail que les élèves accomplissent à l'école, soit pendant la classe, soit pendant l'étude. Dans ce cas, le travail intellectuel s'oppose au travail physique, au travail musculaire, auquel les élèves se livrent soit pendant les récréations, dans leurs jeux ou dans leurs leçons de gymnastique, soit encore dans certaines parties des leçons d'art manuel. La distinction du travail intellectuel et du travail physique est simple en théorie ; dans tout travail intellectuel il y a une partie de travail physique, et dans tout travail physique il y a une part de travail intellectuel ; mais ce qui caractérise le travail physique, c'est que le rôle joué par les mouvements et par le système musculaire est prépondérant, tandis que dans le travail intellectuel, ce qui prédomine,

c'est la concentration de l'attention et le jeu de l'intelligence.

Le travail intellectuel n'est pas un, il est extrêmement variable ; on peut, sans faire pénétrer bien avant l'analyse, distinguer différentes formes du travail intellectuel. Ces distinctions ne sont pas inutiles à indiquer ici ; elles serviront à délimiter notre sujet et à donner plus de précision à nos développements.

1° Le travail intellectuel peut être court ou prolongé ; il peut durer à peine une seconde, ou plusieurs minutes, plusieurs heures, plusieurs jours, plusieurs mois ; et nous verrons que les effets physiologiques du travail intellectuel dépendent de sa durée. Le travail intellectuel scolaire, le seul qui doit nous occuper, est un travail assez long, qui dure plusieurs heures ; nous dirons cependant quelques mots du travail intellectuel court, durant à peine quelques minutes, afin de rendre notre étude plus complète ; mais nous ne parlerons pas du travail intellectuel très court, qui dure à peine quelques secondes. Ce travail si court consiste dans une fixation momentanée de l'attention. Écrire la psycho-physiologie de ce travail serait donc faire une étude du mécanisme de l'attention ; ce n'est pas notre intention.

2° Le travail intellectuel peut être intense ou modéré, et présenter une foule de degrés intermédiaires. Le travail intellectuel modéré est connu de tous, même de ceux qui n'ont pas appris à travailler intellectuellement, et à faire de vigoureux efforts d'esprit.

Il est en effet, pour une personne normale, difficile de rester à l'état de veille pendant longtemps sans faire aucun travail intellectuel ; continuellement on pense à quelque chose, on observe ce que l'on voit, on fait des projets sur ce que l'on va faire ou on réfléchit à ce que l'on vient de faire ; en somme, notre intelligence travaille continuellement, et c'est ce travail continuel qui constitue la marque principale de l'état de veille et le distingue de l'état de sommeil. Tout autre est l'état de travail intellectuel dans lequel on

fait un vigoureux effort d'attention, pour comprendre un point obscur, ou pour rappeler un souvenir rebelle, ou pour apprendre quelque chose de nouveau. C'est le travail intellectuel intense, et chacun peut s'en faire une idée personnelle en essayant de calculer mentalement. Le travail scolaire tient le milieu entre ces deux extrêmes ; il exige de temps en temps des efforts intenses, puis il comprend de longues phases de travail très modéré.

Une distinction analogue à la précédente est celle du travail intellectuel volontaire et automatique. Le premier consiste à faire quelque chose de nouveau, le second consiste dans une application de souvenirs ; c'est une routine que l'on trouve dans tous les métiers, les plus intellectuels comme les plus mécaniques. Le travail intellectuel volontaire et nouveau exige un double effort, l'un pour concentrer son attention sur le travail en train, l'autre pour empêcher les idées étrangères à ce travail de se développer. Pour étudier les effets du travail intellectuel automatique, il suffit de comparer les effets du sommeil à ceux de l'état de veille.

Ce sont les influences produites par un travail intellectuel volontaire qui nous intéressent dans ce livre ; en effet, c'est le travail volontaire qui est exigé des élèves dans les écoles et c'est ce travail qui produit des effets de fatigue mentale qui, en augmentant d'intensité, sont si nuisibles à l'organisme entier.

Nous allons indiquer brièvement quelles sont les principales formes d'activité intellectuelle qui ont été étudiées jusqu'ici.

D'abord, le *calcul mental*. On peut dire que le calcul mental, sous forme de multiplication, est un des meilleurs procédés pour obliger une personne à faire un effort intellectuel court et intense ; l'effort consiste non seulement à multiplier, mais à retenir les données et les produits partiels ; on a aussi, dans certains cas, à décomposer l'opération et à remplacer une multiplication difficile par deux

multiplications équivalentes et plus faciles. Le calcul mental offre aussi l'avantage d'être une pierre de touche pour la sincérité de l'effort. Il y a des personnes qui, même lorsqu'elles se savent en expérience, ne veulent pas se donner la peine de faire un effort mental ; elles font semblant de chercher, froncent les sourcils, restent immobiles un moment, mais elles ne font pas de travail intellectuel. Comme il faut un effort réel pour trouver une solution juste avec le calcul mental, il est tout indiqué de soumettre au calcul mental les individus dont la bonne volonté est sujette à caution[1]. Le calcul mental a été employé dans les expériences de Mosso et de presque tous les autres expérimentateurs.

Un avantage considérable présenté par le calcul mental consiste en ce fait qu'on peut facilement faire varier la difficulté et par conséquent la durée de ce travail intellectuel. On peut en effet, chez un adulte, donner à calculer de tête des multiplications de difficulté très variable ; depuis une multiplication de un chiffre par un chiffre, telle que 7×8, qui prend en général deux à trois secondes de temps, jusqu'à une multiplication d'un nombre de deux chiffres par un nombre de trois chiffres, telle que 473×67, qui chez un individu moyen nécessite un temps de quelques minutes ; pendant ce travail mental le sujet reste immobile, il ne parle pas, il ne fait en somme que du travail intellectuel ; c'est là un avantage sur les autres travaux intellectuels, qui nécessitent presque tous des mouvements de parole ou autres.

On a aussi employé souvent, dans les recherches sur les effets que le travail psychique produit sur la circulation du sang, la méthode des problèmes d'algèbre et de géomé-

[1] Il ne faût pas oublier que le défaut de sincérité et même la simulation complète se rencontrent chez toutes les espèces de sujets d'expérience, non seulement chez des hystériques et des enfants, mais chez des adultes, des individus cultivés et se prêtant bénévolement aux recherches, chez des candidats à l'agrégation et au doctorat ; nous en avons eu des exemples.

trie ; mais ces problèmes ne peuvent être résolus que par des personnes en petit nombre, qui ont une culture spéciale.

Un autre exercice du même genre consiste à faire répéter de mémoire une série de chiffres. On récite devant le sujet cinq à dix chiffres, sans rythme, avec une vitesse de deux chiffres par seconde ; il doit les écouter attentivement, puis les répéter après une seule audition ; il doit faire un effort pour les répéter tous exactement, et dans l'ordre où on les lui a dits. Cette répétition exige un très sérieux effort d'esprit. Cette expérience a un avantage : on peut la faire même sur des personnes ignorantes, qui ne savent pas calculer de tête, qui ne savent pas leur table de multiplication, sur des individus qui ne savent ni lire ni écrire. Malheureusement, il y a une cause d'erreur : le sujet est obligé de répéter à haute voix les chiffres entendus, et par conséquent cet exercice de la parole vient ajouter au travail intellectuel un certain nombre de phénomènes moteurs qui en altèrent la nature ; la respiration, par exemple, est modifiée par la parole. Il est presque impossible d'éviter cette erreur en priant le sujet de faire un effort pour retenir les chiffres et de ne pas les répéter ; car, du moment que le sujet sait qu'il n'aura pas à répéter les chiffres, il ne fait pas d'ordinaire un aussi grand effort pour les retenir que s'il doit les répéter devant témoins.

Quelques expérimentateurs ont imaginé d'autres expériences de mémoire, un peu plus compliquées ; par exemple évoquer un souvenir ancien, se rappeler tel passage d'un auteur connu, ou exposer de mémoire une théorie philosophique. Mentz et Kiesow ont employé des épreuves de ce genre. En général, elles ont le défaut d'exiger un exercice de la parole, par conséquent le sujet fait des mouvements, ce qui complique les effets du travail intellectuel.

On peut encore signaler comme épreuves de travail intellectuel rapide la lecture. C'est un exercice que l'on peut faire seul et sans aide, et qui permet par conséquent

d'expérimenter sur soi-même. C'est un très grand avantage, car alors on travaille seul dans une pièce isolée, et on est bien tranquille. Gley, pour étudier l'influence du travail intellectuel sur le pouls carotidien, lisait des pages de science ou de métaphysique. En graduant les lectures, on peut augmenter à volonté l'intensité de la contention d'esprit ; mais en général cette intensité est moindre que celle du calcul mental ; il est rare que l'on fasse pendant une lecture un effort mental aussi vigoureux que lorsqu'on cherche à faire de tête une multiplication un peu compliquée.

Tels sont les principaux procédés qui ont été imaginés jusqu'ici pour l'étude du travail intellectuel court et intense ; c'est une étude qui a été entreprise le plus souvent à un point de vue physiologique, pour connaître les effets du travail intellectuel sur le cœur, ou sur la chaleur animale, ou sur la force musculaire. Quand le travail est court et intense, et surtout quand il prend la forme d'une recherche, il s'accompagne souvent d'un sentiment d'anxiété ; on craint de s'embrouiller et de ne pas trouver la solution juste, de ne pas répéter exactement les chiffres. L'émotion augmente si, comme il arrive souvent, le sujet n'est pas isolé, et si l'expérience se fait devant plusieurs témoins. Les effets de cette émotion s'ajoutent à ceux du travail intellectuel et l'expérience n'est pas bien faite. Un auteur allemand, Kiesow[1], ayant remarqué cette cause d'erreur, a prétendu que le travail intellectuel ne produit d'effet sur la pression du sang que s'il est accompagné d'émotion ; mais cette conclusion est certainement exagérée. Il vaut mieux se borner à signaler cette cause d'erreur, et faire des efforts pour l'éviter.

Les recherches sur un travail intellectuel long, prolongé pendant plusieurs heures, sont moins nombreuses que les précédentes ; il y en a peu qui aient été faites dans les

[1] *Arch. ital. de biologie*, 1895, XXIII, p. 198-211.

laboratoires de psychologie. On a employé en Allemagne, dans le laboratoire de Kraepelin, la méthode des additions ; on plaçait sous les yeux du sujet plusieurs colonnes de chiffres, et il devait les additionner et écrire les additions ; c'est un travail mental, et c'est aussi une fatigue d'écriture pour la main. Nous aurons du reste à regarder de très près ces recherches, pour en faire la critique. Plusieurs auteurs, qui avaient un article à écrire, des notes à compulser, des documents à étudier, en ont profité pour faire du travail intellectuel ; c'est de cette manière, par exemple, qu'on a étudié les effets du travail intellectuel sur la sécrétion urinaire. Le défaut de ce travail intellectuel est de manquer d'uniformité ; à certains moments, on fait un très grand effort d'esprit ; puis on dépense beaucoup de temps à lire distraitement des choses insignifiantes et à faire de la rédaction automatique. Pour provoquer un travail intellectuel plus continu et assez uniforme, nous pensons qu'on pourrait essayer de jouer une partie d'échecs à l'aveugle, pendant une heure ou deux.

Quelques auteurs n'ont point imaginé un travail intellectuel spécial, mais ont profité du travail intellectuel que leurs sujets exécutaient spontanément. C'est ainsi qu'ont été faites les si nombreuses recherches sur la fatigue intellectuelle dans les écoles ; on étudiait la fatigue provenant des heures de classe et des heures de gymnastique. Certainement, ce sont ces études qui sont les plus intéressantes pour la pédagogie. Nous relaterons dans le cours de cet ouvrage les observations, encore inédites, que nous avons recueillies sur la consommation du pain pendant une année scolaire dans une école normale ; le travail intellectuel des élèves consistait dans le cours normal des études, et il s'y est joint, vers la fin de l'année scolaire, un état d'anxiété produit par la préparation des examens.

Mosso, qui a surtout mis en lumière les effets du travail psychique sur la force musculaire, a expérimenté sur ses collègues quand ceux-ci venaient de faire un cours public,

ou quand ils avaient fait passer des examens de médecine pendant plusieurs heures. Ce sont là de fortes dépenses d'activité intellectuelle, mais elles s'accompagnent de beaucoup d'émotion et aussi de mouvements.

On voit par ces exemples qu'il est assez difficile de provoquer un travail intellectuel qui soit, au gré de l'expérimentateur, continu, uniforme, prolongé, d'une intensité voulue, et surtout pur de tout élément émotionnel et moteur. Nous aurons pour chaque cas particulier à tenir compte des causes d'erreur qui auront pu se glisser dans les expériences, et dont les auteurs eux-mêmes n'ont pas toujours eu la claire conscience.

Après avoir donné une idée générale des différentes espèces de travail intellectuel qui ont été soumises jusqu'ici à l'expérimentation, il importe d'indiquer quels sont les effets de travail intellectuel qui ont été observés.

Les effets produits par le travail intellectuel peuvent être divisés en deux groupes : d'une part, il se produit des modifications dans les fonctions physiologiques de l'organisme, telles que la circulation, la respiration, la température, l'alimentation, les sécrétions : ce sont les *effets physiologiques ;* d'autre part, le travail intellectuel produit une fatigue de l'attention plus ou moins forte et influe sur différentes fonctions intellectuelles et morales : ce sont les *effets psychologiques.* Tous ces effets seront plus ou moins accentués suivant la durée et l'intensité de l'effort mental.

Cette distinction, qui est commode pour l'exposition des faits, nous servira à diviser notre livre en deux parties ; la première partie sera consacrée aux effets physiologiques du travail intellectuel, et la seconde partie aux effets psychologiques.

Les effets physiologiques, en général, sont trop faibles et d'une nature trop spéciale pour qu'on puisse les constater par la simple observation directe ; une augmentation de la force musculaire, un changement dans le rythme de

la respiration, une modification de la forme du pouls, tels sont quelques-uns des effets physiologiques que nous aurons à décrire ; on ne peut les étudier, en général, qu'en employant des instruments spéciaux, et en outre il faut, pour faire les expériences nécessaires, avoir des connaissances sur la physiologie de la circulation, de la respiration, des sécrétions, etc. Nous comptons exposer très longuement, non seulement les résultats qui ont été trouvés par les auteurs, mais aussi les méthodes à suivre. Nous pensons rendre service aux psychologues, qui généralement sont trop peu familiarisés avec la psycho-physiologie. Les détails que l'on trouvera dans notre livre ne feront certainement pas double emploi avec ceux que l'on peut se procurer en ouvrant un traité moderne de physiologie, car nous nous sommes mis à un point de vue tout à fait spécial ; nous avons décrit les expériences et les méthodes pour les laboratoires de psychologie, en tenant compte surtout des causes d'erreur qui sont mentales, et en insistant sur les règles à suivre quand on se propose de résoudre un problème de psychologie. Tout notre ouvrage aura une orientation pratique, et nous insisterons beaucoup sur la technique.

PREMIÈRE PARTIE

EFFETS PHYSIOLOGIQUES DU TRAVAIL INTELLECTUEL

CHAPITRE PREMIER

INFLUENCE DU TRAVAIL INTELLECTUEL SUR LE CŒUR

L'étude des effets physiologiques du travail intellectuel peut se diviser en deux parties distinctes, qui sont connues bien inégalement : la première de ces parties consiste dans la description des effets directement observables qui se produisent lorsqu'une personne fait un travail intellectuel; ainsi, il y a, chez une personne qui fait des efforts intellectuels soutenus, un changement dans le rythme du cœur, un changement dans la sécrétion urinaire et dans la force musculaire. L'analyse de ces effets, leur description méthodique formeront le principal sujet des pages qui vont suivre. Pour que l'étude de ces modifications devienne scientifique, il faut et il suffit qu'on démontre qu'elles sont une conséquence du travail intellectuel.

La seconde partie de ces études n'est pas descriptive, mais explicative; elle consiste à rechercher le comment, le mécanisme intime par lequel se produisent les effets physiologiques du travail intellectuel. Cette recherche est légitime. Il est bien évident que lorsqu'on a démontré que le travail intellectuel produit une élévation de température, ou, suivant les cas, une augmentation de la pression du

sang, un affaiblissement de la force musculaire, etc., on n'a pas tout dit. On n'a pas expliqué comment un certain fonctionnement des centres nerveux de l'encéphale a provoqué ces conséquences physiologiques. La provocation, dans la plupart des cas, ne peut pas être directe, elle est indirecte, compliquée ; elle suppose des mécanismes intermédiaires. La recherche de ces mécanismes intermédiaires est certainement une des plus belles parties de la science. Malheureusement, sur beaucoup de points, elle est encore hypothétique. Aussi serons-nous forcé d'être brefs sur ces questions ; mais nous ne les laisserons pas entièrement de côté.

Nous examinerons d'abord les effets du travail intellectuel sur le cœur, parce que la circulation du sang, en y comprenant le cœur et les nerfs vaso-moteurs, est, dans tout l'organisme, la fonction qui se modifie le plus facilement sous des influences psychiques; la circulation du sang constitue le réactif le plus sensible des excitations qui intéressent le système nerveux. Une émotion qu'une personne éprouve peut ne se manifester sur sa physionomie par aucun signe visible, ne produire aucune modification saisissable de la motilité ; mais si l'émotion est forte, le rythme du cœur sera changé, les nerfs vaso-moteurs seront excités, bref la circulation subira un retentissement.

Il résulte de cet état de choses un avantage et un inconvénient. L'avantage, c'est que le processus psychique le moins important, le plus faible, agit sur la circulation et la modifie, et que par conséquent l'étude de la circulation peut permettre de saisir les premiers effets, les effets les plus légers, du travail intellectuel ; l'inconvénient, c'est que par suite de la sensibilité très grande de la fonction circulatoire, elle se trouve dans un état extrêmement instable ; elle change d'un moment à l'autre, sans cesse modifiée par une foule d'influences, dont une bonne partie échappe à notre investigation, de sorte qu'au cours d'une expérience sur les relations du travail intellectuel et du pouls, on est

exposé à l'erreur de prendre pour un effet du travail intellectuel une modification qui provient d'une autre cause, très légère, et ayant passé inaperçue.

Parmi ces causes modificatrices de la circulation qui peuvent passer inaperçues, il faut signaler en toute première ligne les changements dans la position du corps et les mouvements du corps. Est-on assis sur un fauteuil, le dos commodément appuyé sur le dossier de ce siège, le simple fait de redresser le buste ou de l'incliner en avant modifie le volume de la main ; et si, quittant la position assise, on se met debout, il résulte de cette station debout une augmentation si considérable de la pression du sang que jamais, à notre connaissance, dans les expériences les plus pénibles de calcul mental, on n'a atteint un tel chiffre de pression sanguine. Il faut avoir tous ces faits bien présents à l'esprit quand on recherche l'influence du travail mental sur la circulation du sang ; et pour éviter les causes d'erreurs provenant de ce chef, il faut exiger du sujet une immobilité absolue. On n'obtient cette immobilité, en général, que des personnes un peu habituées aux expériences et ayant appris à commander à leur corps ; le premier individu venu s'agite sur sa chaise, parle, se penche à droite et à gauche, et constitue un détestable sujet pour des recherches aussi délicates.

1° Vitesse du cœur. — La vitesse du cœur est, de tous les phénomènes circulatoires, celui qu'il est le plus facile d'étudier, au moins grossièrement, puisqu'il suffit de compter le pouls de l'artère radiale au poignet en regardant une montre à secondes pour savoir combien de fois le cœur d'une personne se contracte en un temps donné.

Le nombre de pulsations, chez un individu normal, est de 72 par minute; il est un peu plus élevé chez les enfants. D'après des recherches récentes de Gilbert, voici le nombre de pulsations par demi-minute pour des enfants dont l'âge varie de six ans à seize ans.

Tableau de Gilbert sur le pouls par rapport à l'âge.

AGES	NOMBRE de garçons étudiés.	NOMBRE de filles étudiées.	Nombre de pulsations en 30 secondes.	
			POULS des garçons.	POULS des filles.
6 ans.	43	48	53	50,5
7 —	46	50	49,5	50,8
8 —	49	44	47,4	51,0
9 —	52	48	45	48,2
10 —	47	61	44	45,8
11 —	52	45	44,2	43,8
12 —	54	57	44,4	41,3
13 —	51	50	45	43,2
14 —	48	42	43,4	44
15 —	50	41	41,5	42
16 —	33	40	42,6	43

Nous représentons ces résultats sur le graphique suivant :

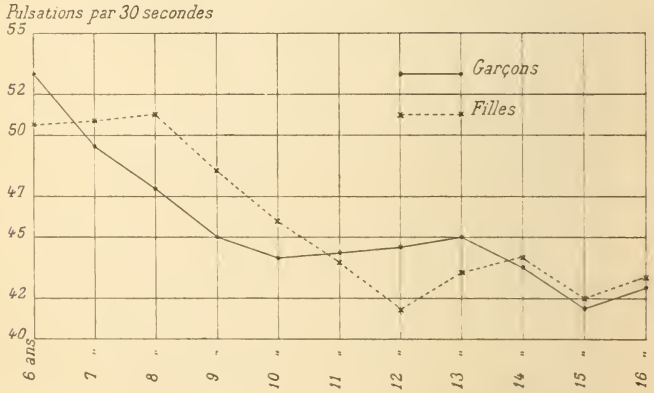

Fig. 1, représentant le nombre de pulsations par demi-minute, chez des enfants d'âge différent. On remarque que le pouls est plus fréquent chez les enfants les plus jeunes. Il n'y a pas de différence nette entre les garçons et les filles.

Les chiffres du précédent tableau doivent être considérés comme un peu trop élevés : ils ont été pris au cours d'ex-

périences faites dans des écoles américaines. Or, les observations que nous avons faites personnellement sur des enfants dans les écoles nous ont prouvé qu'il suffit de leur adresser la parole et de tâter leur pouls pour produire une petite émotion qui accélère leur cœur ; cette accélération du cœur dure un temps très variable d'un sujet à l'autre ; il est à peu près impossible pour un expérimentateur étranger à l'école de recueillir le pouls normal des enfants.

La vitesse du cœur varie de plusieurs façons : il peut y avoir variation soit dans le rythme du cœur, soit dans le nombre de pulsations.

Le nombre des pulsations du cœur est susceptible de varier dans les deux sens de l'augmentation et de la diminution. Pour bien comprendre quel est l'effet du travail intellectuel sur la vitesse du cœur, il faut comparer cet effet à celui d'un autre facteur, par exemple le travail physique.

Le travail physique, quand il consiste dans un exercice de tout le corps, comme la marche, la course, la bicyclette, produit une accélération du cœur et aussi de la respiration. Tout le monde a pu observer sur soi-même qu'après une course rapide, on sent dans la poitrine le choc du cœur, qui précipite ses battements. Récemment, pour des expériences spéciales qui seront relatées ailleurs, nous faisions courir des enfants de douze ans sur une longueur de six cents mètres ; l'allure n'était pas bien vive, car cette distance était franchie en moyenne en cinq minutes. Cependant l'accélération du cœur était considérable, le cœur battait après la course 140 à 150 fois tandis, qu'avant la course il n'y avait que 80 à 100 pulsations par minute. Du reste, il faut bien remarquer que l'excitabilité du cœur n'est pas la même chez tous ; si deux personnes ou un plus grand nombre font ensemble une marche à pied, et ont soin de prendre leur pouls à intervalles réguliers, par exemple chaque demi-heure, on constate une accélération chez tous les marcheurs, mais elle est d'importance inégale. Dans une

expérience que nous avons faite récemment sur sept personnes faisant ensemble une marche à pied de 8 kilomètres environ, sur terrain plat, de quatre à six heures de l'après-midi en été, un des marcheurs a eu un pouls de 88 pulsations au maximum, et un autre un pouls de 128 ; la marche a duré environ deux heures, avec une vitesse d'un kilomètre pour treize minutes. Il y a donc eu, pour un même travail mécanique accompli par ces deux personnes, un écart de 40 pulsations par minute.

Nous donnons dans le tableau suivant les résultats pour les sept personnes qui ont pris part à cette expérience :

SUJETS	Avant de partir à 3 h. 3/4.	A 4 h. 10 m. après 25 m. de marche.	A 4 h. 30 m. après 45 m. de marche.	A 4 h. 55 m. après 70 m. de marche.	A 5 h. 35 m. après un *repos* de 1 h.	A 6 h. 20 m. après 25 m. de marche.	A 6 h. 45 m. après 55 m. de marche.
Mad. (enfant).	68	96	100	104	»	»	»
L. B. (dame).	72	92	96	96	»	»	»
V. H.	76	86	76	76	68	84	88
A. B.	84	108	104	124	100	108	120
V.	88	92	96	104	88	100	108
C. H. (dame).	88	100	104	104	84	108	116
A. H. (dame).	92	106	128	108	96	110	112

Les chiffres du tableau précédent indiquent les nombres de pulsations par minute.

Le graphique suivant exprime la vitesse du cœur chez quatre des personnes précédentes ; nous avons porté en ordonnées le nombre de pulsations et en abscisses les différentes époques d'expériences. Ce graphique indique nettement qu'il y a des différences individuelles considérables pour les réactions du cœur sous l'influence d'un travail physique tel qu'une marche de vitesse moyenne sur un terrain plat.

Nous devons en conclure que l'on ne peut pas se contenter d'expériences faites sur un petit nombre de sujets, il

faut, pour être sûr d'un résultat en psychologie, l'observer sur un nombre considérable de sujets.

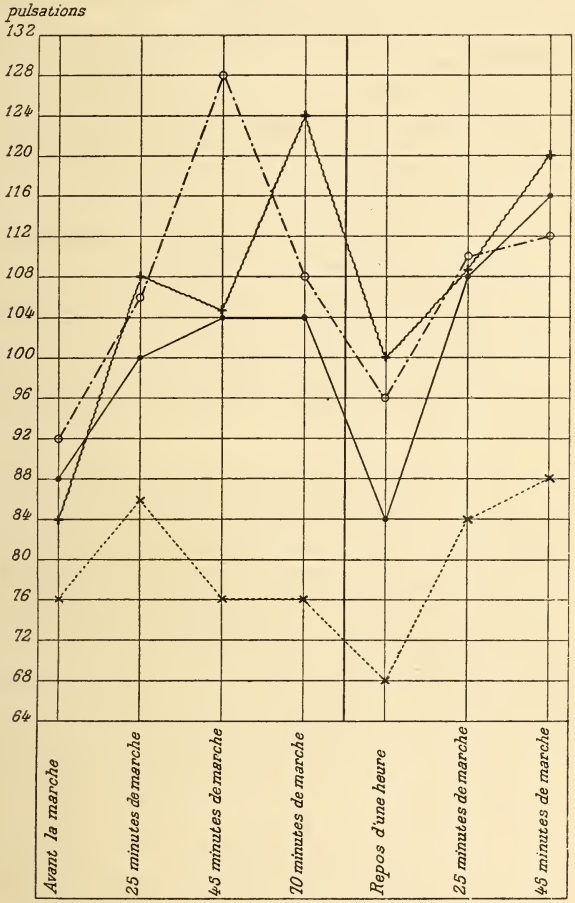

Fig. 2. — Nombre de pulsations par minute chez quatre sujets (V. ; A. H. ; A. B. et V. H.) pendant une marche sur terrain plat. On remarque que les quatre courbes ne se développent pas parallèlement, c'est-à-dire que le pouls varie pendant la marche d'une manière différente suivant les sujets.

Les ralentissements du cœur sous l'influence de l'exercice physique sont beaucoup moins connus, ils sont même,

peut-on dire, complètement ignorés. Il est de connaissance vulgaire que la marche et la course accélèrent le cœur, et on a une tendance à généraliser cette observation exacte, et à dire que tout exercice physique accélère le cœur. C'est absolument faux. Des expériences récentes faites par Binet et Vaschide ont prouvé que chez des enfants de douze ans un violent effort physique, par exemple une forte pression au dynamomètre, l'ascension d'une perche à la force des bras, produisent un ralentissement considérable du cœur ; à la descente de la perche, le cœur ne donne plus pendant 15 secondes que 10 battements, ce qui ferait 40 battements par minute, si cet état de ralentissement continuait ; mais il ne dure guère, fort heureusement. Chez l'adulte, on provoque aussi, par de vigoureux efforts physiques, le ralentissement du cœur, mais dans des proportions moindres.

Nous avons maintenant un terme de comparaison pour comprendre quels sont les effets du travail intellectuel sur la vitesse du cœur. Il y a plusieurs cas à distinguer, car ce terme très vague de travail intellectuel embrasse plusieurs opérations mentales de nature très différente. Lire un roman amusant, c'est faire du travail intellectuel ; résoudre un problème d'algèbre, c'est également travailler de tête, mais d'une tout autre façon ; il y a lieu aussi de distinguer suivant que l'effort mental est court, dure à peine quelques secondes ou une minute, ou bien se prolonge pendant plusieurs heures.

Le type du travail intellectuel court et intense, nous l'avons déjà dit, est le calcul mental ; tous ceux qui savent leur table de multiplication peuvent faire un peu de calcul mental. Ce sont des opérations qui exigent d'abord de la mémoire, pour retenir la donnée et les produits partiels, et aussi une concentration d'esprit et une force de combinaison. On peut graduer la difficulté en faisant exécuter des séries de multiplications dans lesquelles on augmente le nombre de chiffres des facteurs.

Un calcul mental durant de quelques secondes à trois ou quatre minutes a pour effet presque constant d'accélérer le cœur. Cette accélération a été observée par tous les auteurs qui s'en sont occupés, et les documents recueillis sur ce point sont tellement nombreux et concordants que ce fait peut être considéré comme certain. Pour permettre au lecteur d'en juger, nous publions trois tables empruntées aux recherches de différents auteurs ; la première est due à Gley[1], qui a fait les expériences sur lui-même, prenant

Influence du travail intellectuel sur le pouls.
(Tableau de Gley.)

GENRE DE TRAVAIL	DURÉE DU TRAVAIL	NOMBRE DE PULSATIONS par minute.		
		Repos.	Travail.	Différence.
Philosophie. .	15 minutes.	70	72	2
— .	—	78	81	3
— . .	—	73	75	2
— . .	--	68	70	2
— . .	—	74	77	3
— . .	—	75	77	2
— . .	—	73	76	3
— . .	—	82	82	0
— . .	—	77	77	0
— . .	—	80	82	2
— . .	—	72	75	3
— . .	—	75	77	2
Géométrie . .	10 minutes.	78	84	6
— . .	20 —	76	77	1
— . .	30 —	76	79	3
— . .	40 —	75	77	2
— . .	50 —	72	77	5

son pouls carotidien pendant qu'il lisait de la géométrie ou de la métaphysique. Le second tableau de chiffres relate des expériences que nous avons faites nous-mêmes

[1] Gley. *Étude expérimentale sur l'état du pouls carotidien pendant le travail intellectuel.* Paris, 1881

au laboratoire de psychologie de la Sorbonne [1] ; nos sujets faisaient du calcul mental pendant qu'on recueillait leur pouls capillaire.

Influence du travail intellectuel sur le pouls.
(Tableau de Binet et Courtier.)

SUJETS	DURÉE du travail intellectuel.	NOMBRE DE PULSATIONS par minute.		
		Avant.	Pendant.	Après.
E.	55 sec.	79,5	102	96-90-87
E.	90 —	75	99	90-81-69
C.	80 —	70	75	75-69
C.	150 —	70	75	68
Pi.	40 —	72	74	76
Ph	60 —	72	80	77
F.	42 —	70	78	73
H.	90 —	72	72	72

Influence du travail intellectuel sur le pouls.
(Tableau de Mac Dougal [2].)

SUJETS	AVANT	PENDANT LE CALCUL MENTAL		
A.	62,5	67,5	80	85
B.	72,5	72,5	74,5	75
C.	77,5	77,5	82,5	85
C.	75	82,5	75	—
D.	57,5	65	62,5	62,5
D.	65,5	70	75	75
E.	60	65	67,5	65
E.	75	77,5	80	75
F.	50	55	60	60

On voit, d'après ces tableaux, que l'accélération du cœur produite par un calcul mental difficile peut être de cinq à

[1] Binet et Courtier. *Effets du travail intellectuel sur la circulation capillaire.* Année psychologique, III, p. 42-64.

[2] Mac Dougal. *The physical Characteristics of Attention.* Psychological Review, mars 1896, p. 158-180.

vingt pulsations par minute ; le maximum d'accélération serait donc d'un quart ; c'est bien peu de chose, si on compare cette accélération à celle de la course. Nous avons par exemple observé sur l'un de nous (V. H.) qu'après une course rapide d'une dizaine de minutes le pouls était devenu de 160 au lieu de 80 par minute : ce qui représentait une augmentation égale au double.

Quand le travail intellectuel est terminé et que l'attention se relâche, il peut y avoir une prolongation de l'accélération, avant le retour à l'état normal ; ou bien il peut se produire au contraire, comme Mac Dougal l'a signalé récemment, un ralentissement du cœur, qui bat moins vite qu'à l'état normal ; les chiffres publiés par Mac Dougal montrent la réalité de ce ralentissement, qui du reste est peu de chose, car il se réduit à une dizaine de pulsations en moins par minute.

Nous devons rappeler, avant de quitter ce point, que le calcul mental, qui exige un sérieux effort intellectuel, s'accompagne en général d'un état émotionnel d'anxiété, tenant à la crainte d'oublier les données, et aussi à la crainte de ne pas trouver le résultat exact ; cet état émotionnel augmente d'intensité quand l'exercice de calcul mental se fait devant des témoins et avec une certaine solennité. Il est bien moindre, mais il n'en existe pas moins, lorsque le calculateur est seul : il faut tenir compte ici de nombreuses variétés individuelles.

Nous connaissons bien peu de travaux sur les effets produits par un travail intellectuel prolongé sur la vitesse du pouls. Nous ne pouvons citer qu'une expérience unique, due à Binet et Courtier. Comme cette étude a porté à la fois sur la circulation capillaire et sur la vitesse du pouls, nous en parlerons un peu plus loin, lorsqu'il sera question de la circulation capillaire.

Il suffira de dire ici que pendant une après-midi de travail intellectuel, la contention d'esprit tend à ralentir le pouls.

2° **Rythme du cœur.** — Tandis que la vitesse moyenne du cœur peut être appréciée et mesurée très simplement au moyen d'une montre à secondes, il faut, pour connaître la durée de chaque contraction, le rythme du cœur et sa force de contraction, employer des dispositifs spéciaux, qu'on ne trouve que dans les laboratoires, et qui sont tous empruntés à la physiologie. Les appareils dont on fait usage ont pour but d'inscrire le mouvement, c'est-à-dire de le transformer en un tracé indélébile qui en présente les principaux caractères moteurs. La plupart de ces appareils sont une application de la méthode graphique.

La méthode graphique, telle qu'on l'utilise journellement dans les laboratoires, comprend trois espèces d'organes : un organe destiné à recueillir le mouvement — un organe destiné à le transmettre à distance — un organe destiné à l'inscrire. Prenons l'exemple du cœur : nous cherchons à écrire ses battements à l'artère radiale, au poignet ; l'instrument destiné à recueillir les pulsations de l'artère s'appelle un *sphygmographe*. Voici à peu près comment est construit le sphygmographe à transmission de Marey. C'est une capsule métallique, appelée tambour, qui est fermée sur une de ses faces par une membrane de caoutchouc très mince ; la capsule est vide. Elle est montée sur un cadre métallique qui est fixé sur l'avant-bras par des liens circulaires. La membrane de caoutchouc est tournée en bas, vers l'artère ; au milieu de la membrane est collé un petit disque portant une tige T très légère dont l'extrémité arrondie s'applique sur l'artère à explorer. Cette extrémité s'articule avec l'extrémité d'un ressort qui comprime l'artère ; l'autre extrémité du ressort est fixée au cadre métallique ; le mouvement du pouls soulève le ressort, et, par l'intermédiaire de la tige T, détermine une poussée d'air dans le tambour.

Si le sphygmographe est bien ajusté, ce ne sera pas seulement la pulsation dans sa totalité qui déterminera

une poussée d'air ; tous les changements, tous les accidents qui peuvent se produire pendant une pulsation, sa durée d'ascension et de descente, seront également recueillis. Le tambour porte un tube de métal qui s'ouvre à son intérieur et qui s'adapte à un tube de caoutchouc. Ce tube de caoutchouc est l'organe de transmission ;

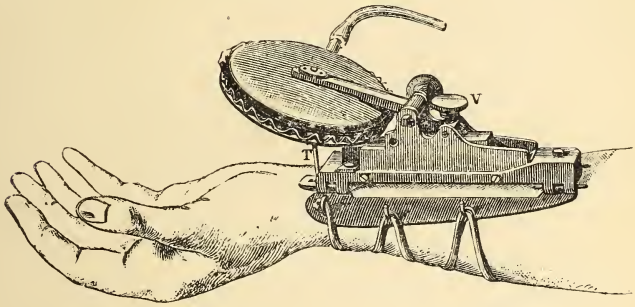

Fig. 3. — Sphygmographe à transmission de Marey. En T la tige, dont une des extrémités, fixée à un ressort, s'appuie sur l'artère, et dont l'autre extrémité est fixée au centre de la membrane de caoutchouc du tambour (Marey).

c'est lui qui porte la poussée d'air avec tous ses détails de forme au point où se fait l'inscription. Le tube se termine dans une seconde capsule métallique, le tambour inscripteur ; ce second tambour présente, comme le premier, une membrane de caoutchouc très sensible aux mouvements de l'air qui se produisent dans l'intérieur du tambour. Au centre de la membrane est collé un disque d'aluminium qui est relié par une bielle à un levier appartenant au type des leviers du deuxième genre ; ce levier s'articule par une de ses extrémités à un point fixe placé dans le voisinage de l'axe. L'autre extrémité est munie d'une plume et elle écrit sur un cylindre les déplacements que le soulèvement de la membrane fait subir au levier ; le cylindre est recouvert d'une feuille de papier noircie avec une flamme fumeuse ; la plume, en s'appuyant

sur le cylindre, enlève, par son frottement, le noir de fumée, et partout où elle entre en contact avec le cylindre, marque un trait blanc. Le cylindre tourne d'un mouvement uniforme. Si la plume du tambour inscripteur est immobile, elle inscrit une ligne droite. Si le sphygmographe est appliqué sur une artère qui bat, à chaque pulsation de l'artère il se fait une poussée d'air qui che-

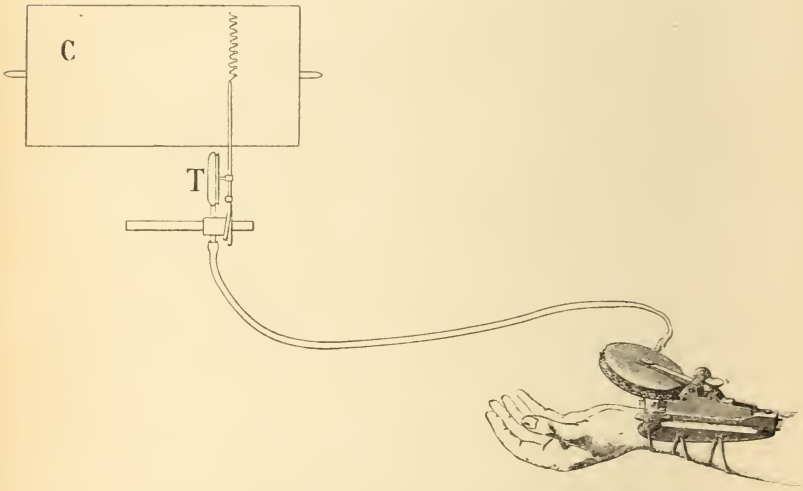

Fig. 4, représentant l'ensemble de la méthode graphique. En C le cylindre tournant sur lequel écrit une plume ; cette plume se trouve reliée à la membrane de caoutchouc du tambour inscripteur T. Un tube de caoutchouc réunit le tambour inscripteur au tambour du sphygmographe.

mine d'un tambour à l'autre, et qui, en arrivant au tambour inscripteur, soulève la membrane ; tous les déplacements de la membrane agissent sur le levier ; le levier amplifie le mouvement et l'inscrit sur le cylindre. A chaque pulsation, la plume est déplacée, et dès que la pulsation est terminée, la plume retombe à la ligne de repos. Connaissant la vitesse de rotation du cylindre, sachant par exemple qu'un centimètre correspond à une seconde, on peut connaître le nombre de pulsations par

minute en lisant le graphique ; on peut savoir par quel intervalle de temps les pulsations sont séparées ; on peut connaître la durée de chacune d'elles.

Le graphique donne aussi la *forme* du mouvement ; il est bien intéressant de regarder la figure 5, qui reproduit la forme d'une pulsation radiale, et d'étudier en même temps sur sa propre artère radiale l'impression tactile que fait la pulsation sur le doigt. Il y a une foule de détails

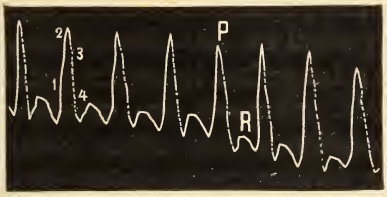

Fig. 5. — Graphique du pouls de l'artère radiale. P est le sommet de la pulsation, R est le dicrotisme (Landois).

qui échappent à cette impression directe ; on sent purement et simplement un choc ; il faut être un médecin ou un physiologiste exercé pour savoir si l'artère est pleine ou vide, si le pouls est ample ou petit, dur ou mou, s'il présente plusieurs rebondissements. Au contraire le graphique montre clairement ces différents caractères. Il montre d'abord que le pouls est une onde formée d'une ligne d'ascension et d'une ligne de descente ; la ligne d'ascension est brusque et simple ; elle ne présente pas d'irrégularité sur son trajet ; elle se termine d'ordinaire par un sommet aigu ; la ligne de descente est toujours plus inclinée, c'est-à-dire plus lente que la ligne d'ascension ; en outre la ligne de descente présente, dans des points variables de son trajet, un ou plusieurs accidents, auxquels on donne le nom de *dicrotismes*. Ils consistent dans une ou plusieurs ondes très courtes, composées d'une ligne d'ascension et d'une ligne de descente.

L'onde principale du pouls correspond à la systole ven-

triculaire, c'est à-dire à la poussée du sang produite par la contraction des ventricules du cœur ; le pouls est un peu en retard sur le cœur, et ce retard est dû à la distance que l'impulsion doit franchir pour aller du cœur à l'artère dont on enregistre le pouls ; le pouls de l'artère pédieuse est plus en retard que le pouls de l'artère carotide, parce que la distance est plus grande dans le premier cas que dans le second. Le graphique du pouls résulte de l'impulsion du cœur ; mais il faut ajouter que ce graphique exprime aussi l'état physique de l'artère, qui d'abord cède à ce choc, puis revient sur elle-même, et se rétracte après s'être distendue ; les petites lignes du tracé, malgré leur apparence simple, résument par conséquent plusieurs phénomènes compliqués. Une artère malade, sclérosée, par exemple, ne donnerait pas le même graphique qu'une artère saine, bien souple et bien élastique.

Les dicrotismes qui s'inscrivent sur la ligne de descente s'exagèrent pendant la fièvre et peuvent dans ce cas être perçus par le doigt ; les sphygmogrammes prouvent que le pouls normal est dicrote, quoique à un degré moins accentué ; on n'est pas encore entièrement d'accord sur le mécanisme de production du dicrotisme.

La méthode graphique nous donne la durée exacte des pulsations et de leurs intervalles, tandis qu'avec la montre à secondes on ne pouvait connaître que la vitesse moyenne du cœur. Voyons ce que la méthode graphique peut nous apprendre de nouveau en ce qui concerne l'influence du travail intellectuel sur le cœur.

Elle a été employée spécialement par Mentz [1] pour mesurer la vitesse du cœur pendant le travail intellectuel ; l'auteur a inscrit le pouls sur un cylindre enregistreur et a mesuré en millimètres la longueur de chaque pulsation ; les nombres du tableau suivant indiquent donc la longueur

[1] Mentz. *Die Wirkung akustischer Reize auf Puls und Athmung.* Philosophische Studien, XI, 1895.

d'une pulsation en millimètres, par conséquent plus le pouls sera rapide plus cette longueur sera petite.

Tableau de Mentz.

Pouls pendant la multiplication de 15 par 15.	7,5 mm. 7,2 — 6,7 — 6,6 — 6,4 — 6,2 —	Pouls pendant la multiplication de 19 par 19.	6,8 mm. 5,5 — 5,2 — 4,9 — 4,6 — 4,4 —

Ce tableau présente un avantage sur les précédents, puisqu'il indique non pas la vitesse moyenne du cœur pendant le calcul mental, comme le font les tableaux précédents, mais la durée de chaque pulsation pendant le calcul mental ; on peut de cette manière suivre exactement la marche du pouls pendant le travail intellectuel ; nous

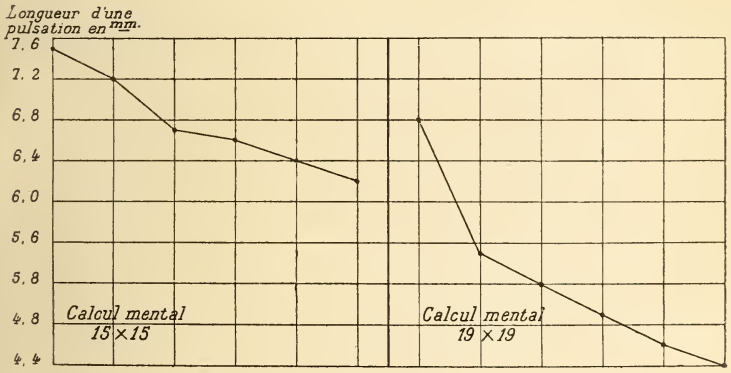

Fig. 6. — Expériences de Mentz. Les deux graphiques représentent les durées successives des pulsations pendant le calcul mental. On voit que la durée des pulsations diminue pendant le calcul mental, c'est-à-dire que le pouls s'accélère.

donnons dans le graphique ci-dessus les longueurs des différentes pulsations exprimées en millimètres ; ce graphique montre nettement que la durée des pulsations diminue de plus en plus pendant le travail intellectuel court étudié par

Mentz ; cette diminution est plus forte lorsque le travail a été plus difficile (produit 19 × 19).

En général, d'après nos observations personnelles, si on prend la vitesse du pouls pendant un travail intellectuel un peu long, on n'observe pas des résultats aussi simples que ceux de Mentz.

Pour faire comprendre ce qui va suivre, il est important de rappeler l'existence des rythmes du cœur.

Pendant un état de repos, le cœur ne bat pas avec une vitesse constante, et les intervalles d'une série de pulsations ne sont pas rigoureusement égaux ; même chez un individu normal, il existe un rythme du cœur, plus ou moins prononcé, rythme qui consiste en un changement régulier de vitesse se reproduisant par période. Il y a principalement deux rythmes qu'on observe fréquemment : le premier est sous l'influence de l'acte respiratoire ; les pulsations correspondant à l'inspiration sont un peu accélérées par rapport aux pulsations qui correspondent à l'expiration. Mentz donne les chiffres suivants pour la durée des pulsations pendant l'inspiration et l'expiration ; ces chiffres représentent les longueurs de chaque pulsation en millimètres.

SUJETS	INSPIRATION			EXPIRATION	
C. A.	6,3 mm.	6,2	6,0	5,8	6,3
P. H.	4,3	4,0	3,8	3,9	4,3
Ber.	5,2	4,9	»	5,2	5,2
Ber.	5,2	4,9	»	4,8	5,2

Nous avons observé récemment chez un jeune garçon de treize ans un rythme analogue, mais beaucoup plus accentué : nous donnons un échantillon de ses tracés, en regrettant de n'avoir pas pris son pouls avec une vitesse de cylindre suffisante pour en calculer les durées (fig. 7 et 8).

Il existe un autre rythme, qu'on ne peut pas attribuer,

comme le précédent, à l'influence de la respiration, car il ne correspond pas à l'acte respiratoire ; sa durée totale comprend plusieurs respirations, en moyenne 3 ou 4 ; ce rythme commence par une accélération du cœur ; puis le cœur se ralentit progressivement, et ensuite il s'accélère de nouveau. Les pulsations sont petites pendant la période d'accélération ; elles deviennent plus grandes pendant la période de ralentissement.

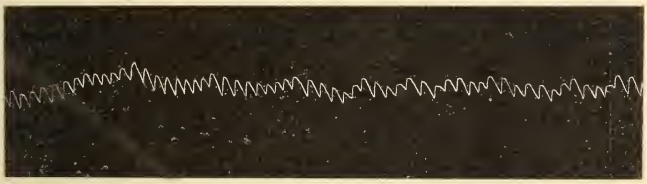

Fig. 7. — Pouls capillaire pris chez un garçon de treize ans. On remarque que toutes les six ou sept pulsations il y a une ou deux pulsations qui sont plus lentes que les autres. Tous nos tracés se lisent de gauche à droite. Ils ont été reproduits par l'héliogravure.

En ce qui concerne le rythme du cœur, nous observons, chez le jeune garçon qui présente un rythme très accentué en rapport avec la respiration, que lorsqu'il fait du calcul mental, ce rythme disparaît presque entièrement, et les pulsations deviennent presque équidistantes sur le tracé. Cela tient à ce que cet enfant a suspendu presque complètement sa respiration pendant le calcul ; et le cœur, se trouvant affranchi momentanément de l'influence respiratoire, a battu avec plus de régularité qu'à l'état normal.

Nous avons en outr efait dernièrement sur nous-mêmes des expériences relatives à la variation de la vitesse du pouls pendant le travail intellectuel ; pour pouvoir calculer avec plus de précision la durée de chaque pulsation, nous avons inscrit le pouls sur un cylindre noirci tournant assez vite (fig. 10), de sorte que chaque pulsation avait une longueur d'environ 50 millimètres. Nous donnons deux gra-

phiques représentant les résultats obtenus ; on avait pris

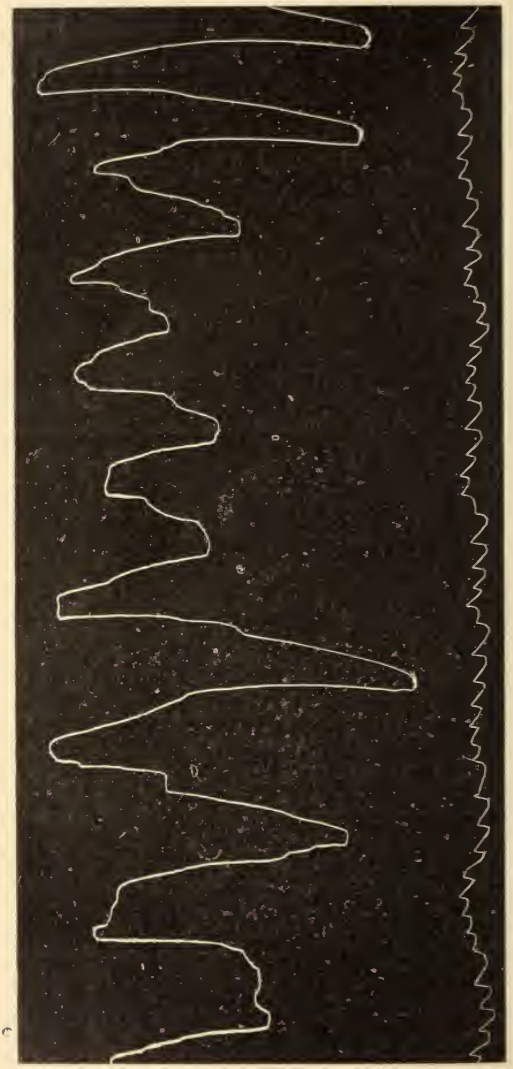

Fig. 8. — Pouls capillaire de la main et respiration prise chez le même garçon que dans la figure précédente. On remarque qu'au moment de l'expiration la pulsation a une plus grande durée. (Les inspirations se font de haut en bas.)

d'abord le pouls à l'état normal, 32 pulsations ont été inscrites, puis le sujet a fait du calcul mental (27 × 36) ; pen-

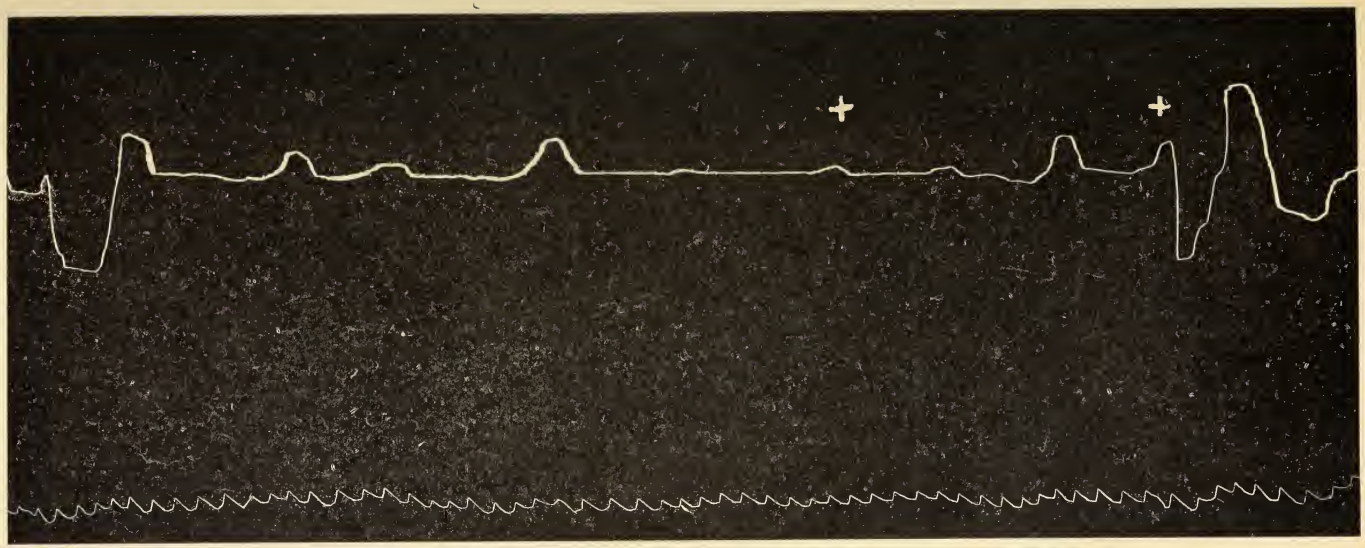

Fig. 9. — Suite du tracé de la figure 8. L'enfant fait un calcul mental (4 × 13) ; pendant ce calcul (entre les deux croix) et un peu avant il retient sa respiration ; on voit que le rythme caractéristique du cœur disparaît pendant le calcul mental et reparaît après. On remarque de plus une légère accélération du cœur pendant le calcul mental.

dant ce calcul, il y a eu 52 pulsations; ensuite le sujet s'est reposé; il y a eu 45 pulsations pendant ce repos; ensuite il a de nouveau fait un calcul mental plus difficile que le précédent (64 × 47) pendant lequel il y a eu 109 pulsations, enfin le sujet s'est reposé et on a encore inscrit 20 pulsations de repos. Nous avons mesuré la durée de chaque pulsation et nous avons construit une courbe en portant en abscisses les pulsations successives et en ordonnées les durées de ces pulsations. Nous rapportons ici une partie de ce gra-

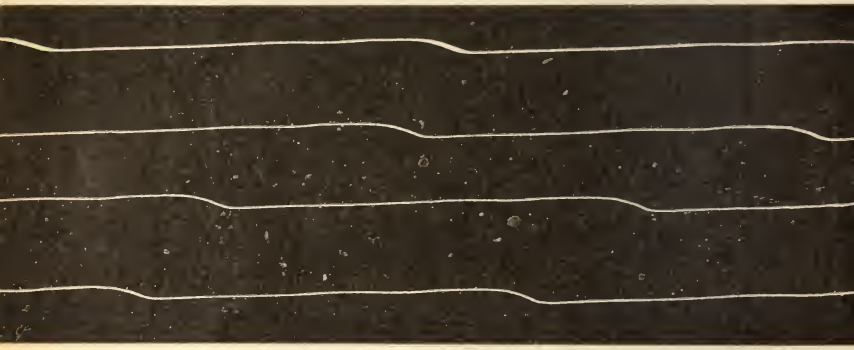

Fig. 10. — Cette figure indique la forme des courbes que l'on obtient lorsque l'on inscrit le pouls avec une vitesse de cylindre de 56 millimètres par seconde. On voit que l'on peut facilement mesurer sur ce graphique la longueur de chaque pulsation.

phique (fig. 11), celle qui correspond à la pause de repos après le premier calcul, au deuxième calcul et enfin au repos après ce deuxième calcul. En observant ce graphique on est d'abord frappé de l'irrégularité de la courbe qui représente la durée des pulsations; ce sont des irrégularités dues soit à l'influence de différentes phases de respiration, soit à d'autres causes.

Au commencement du repos les pulsations sont très courtes, par suite de l'influence du travail intellectuel (27 × 36), qui précédait ce repos; mais après une dizaine de pulsations, la courbe monte de plus en plus, ce qui

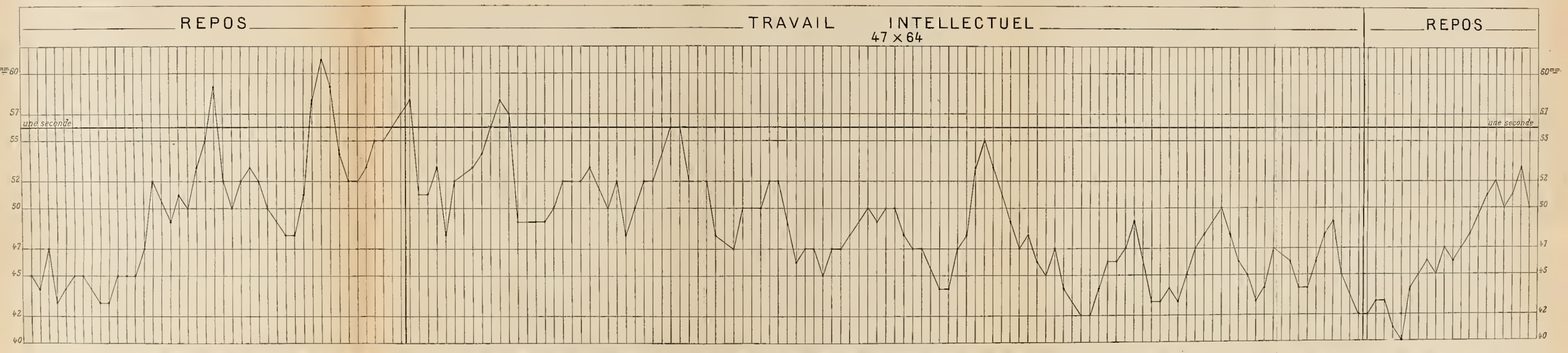

Fig. 11. — Ce graphique indique les variations de la durée des pulsations successives chez A. B. pendant le repos et pendant le travail intellectuel. On voit que pendant le travail intellectuel la durée des pulsations diminue, c'est-à-dire que le pouls s'accélère. Cette nouvelle manière de représenter la vitesse du cœur montre en outre que la vitesse du cœur présente des variations très compliquées, qui tiennent soit à l'action de la respiration, soit à d'autres causes.

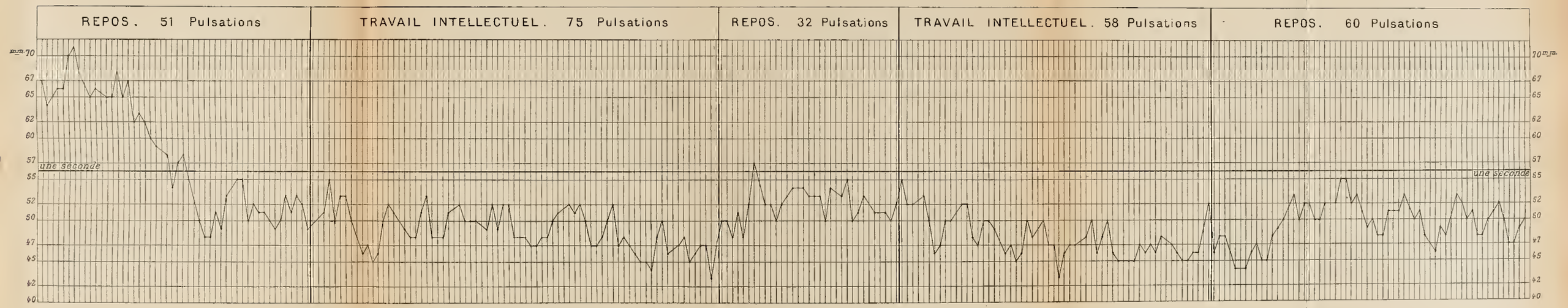

Fig. 12. — Graphique de la durée des pulsations successives chez V. H. On remarque une légère accélération pendant le travail intellectuel.

indique que le cœur cesse d'être accéléré et revient à l'état normal. Lorsque le sujet fait le calcul mental (47 × 64), pendant les dix à quinze premières pulsations il n'y a pas d'accélération des pulsations, mais ensuite la durée des pulsations diminue de plus en plus ; cette accélération du cœur se produit donc chez ce sujet d'une manière très lente, mais elle est continue. Lorsque le calcul est fini, et que le repos vient, la courbe monte rapidement, ce qui indique que l'accélération du cœur, produite par le calcul mental, disparaît, et le cœur tend à revenir à son état normal.

Voilà pour la direction générale de la courbe ; il faut aussi dire quelques mots de ses divers accidents. Ces accidents sont de deux sortes, ce sont des petites ondulations qui durent pendant 3 ou 4 pulsations ; ce sont en outre de grandes ondulations qui comprennent en moyenne 7 à 10 pulsations. Les premières ondulations sont sous l'influence des actes respiratoires ; les secondes en sont indépendantes, ou du moins elles durent beaucoup plus longtemps qu'un acte respiratoire. Pendant le travail intellectuel, chez M. A. B., nous voyons que ces ondulations des deux espèces diminuent beaucoup d'importance ; elles sont comme effacées par l'accélération du cœur.

Nous publions un second graphique du même genre, pris sur M. V. H.

Force propulsive du cœur. — Pour évaluer le travail du cœur, il faut connaître non seulement sa vitesse, le nombre de fois qu'il se contracte par minute, mais la force de ses contractions.

Les sphygmogrammes présentent des graphiques de la pulsation qui, à première vue, semblent pouvoir donner des renseignements sur la force du cœur ; en effet, la pulsation artérielle présente une certaine amplitude, qu'on peut mesurer en centimètres, par la distance entre la ligne de repos et la hauteur maxima que la plume trace dans la ligne d'ascension du pouls ; il y a des variations assez fortes

d'amplitude sous l'influence de la respiration, chez un même individu et dans un même tracé; ainsi le pouls est moins ample pendant l'inspiration que pendant l'expiration; les différences d'amplitude du pouls artériel sont aussi très grandes d'un individu à l'autre, alors même qu'on les inscrit avec le même sphygmographe. Quelle importance faut-il donc attacher à ces différences d'amplitude?

Tout d'abord, il est très important de faire remarquer que certains appareils graphiques ne permettent pas des applications comparables. Quelque soin qu'on y mette, on n'est jamais sûr d'avoir appliqué le sphygmographe deux fois de la même façon sur l'artère, et à plus forte raison sur les artères de deux individus différents. Le sphygmographe est, comme le cardiographe, dont nous parlerons dans un instant, un appareil compliqué et très difficile à bien appliquer; de plus, les artères radiales ne sont pas disposées chez tous les individus de la même façon; il en est de profondes et d'autres sont plus superficielles; elles n'ont pas le même calibre et leurs parois n'ont pas la même résistance. De tout ceci, il faut conclure qu'on ne peut pas comparer un tracé sphygmographique à un autre tracé sphygmographique, surtout si les deux tracés proviennent d'individus différents. On doit seulement comparer, dans un même tracé, telle portion à telle autre.

Ajoutons que l'amplitude du pouls radial n'est nullement un indice de la force de contraction du cœur. Il est possible qu'un graphique très petit, de quelques millimètres de hauteur, soit produit par des contractions très fortes, et qu'au contraire un graphique très ample corresponde à des contractions très faibles. Cela tient à ce que la force propulsive du cœur n'est pas seule à agir sur l'amplitude du graphique du pouls; il faut aussi tenir compte de la pression du sang, de la quantité de sang, de l'état des artères, etc. Ainsi, lorsqu'on tient pendant quelque temps la main élevée, ce qui produit une déplétion sanguine de

cet organe, le graphique du pouls est plus grand que lorsque la main est placée plus bas; il peut y avoir pendant la position élevée de la main augmentation du double de l'amplitude, ce qui certainement ne correspond pas à une augmentation équivalente de la force propulsive du cœur.

On ne réussit pas mieux, jusqu'ici, à connaître la force des contractions du cœur chez l'homme en appliquant un appareil appelé cardiographe sur la poitrine, entre le 4e et le 5e espace intercostal, dans la région où le cœur ébranle le plus fortement la poitrine à chacune de ses contractions.

Le cardiographe est un tambour portant au centre de sa membrane de caoutchouc un bouton d'ivoire qu'on applique

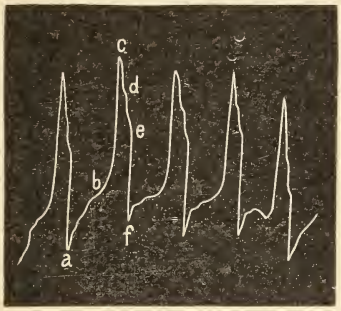

Fig. 13. — Cardiogramme normal de l'homme. *a b* correspond à la systole auriculaire, *b c* à la systole ventriculaire, *d* à la fermeture des valvules aortiques, *e* à la fermeture des valvules de l'artère pulmonaire, *e f* à la diastole des ventricules (Landois).

sur la poitrine et qui se trouve repoussé à chaque choc du cœur; le cardiographe est relié par un tube de caoutchouc à un tambour inscripteur, selon la méthode ordinaire. Les cardiogrammes humains sont certainement des graphiques très intéressants, dont on a pu faire l'analyse en profitant de ce que les expériences de vivisection sur les animaux nous ont appris sur la physiologie du cœur. On sait que le point *c* du cardiogramme correspond à la systole des

ventricules, que *b* correspond au premier bruit du cœur, et *d e* correspondent au deuxième bruit de fermeture des valvules aortiques et de l'artère pulmonaire et au deuxième bruit du cœur. Mais l'intensité de la contraction ne peut être donnée par l'amplitude du tracé. Le bouton du cardiographe n'est pas appliqué directement sur le muscle cardiaque; il y a entre l'instrument explorateur et l'organe qu'il s'agit d'explorer un intermédiaire, une cloison, la paroi pleurale; cette paroi n'est pas immobile, elle se déplace à chaque mouvement respiratoire, et par conséquent les rapports entre le cœur, la paroi et les cardiographes ne sont pas des rapports fixes. La grandeur du cardiogramme n'est qu'un à peu près, ce ne peut être une mesure de la systole.

L'accélération du cœur sous l'influence du travail intellectuel n'est pas plus expliquée jusqu'ici que l'accélération du cœur sous l'influence de la course. On sait que la vitesse du cœur peut être influencée de deux manières différentes, par une action du système nerveux et par une action mécanique, celle du sang. Le système nerveux exerce principalement son influence par les nerfs émanés du pneumogastrique et par les nerfs appartenant au grand sympathique: les premiers produisent un ralentissement des mouvements du cœur, les autres sont des accélérateurs. On pourrait donc supposer que pendant le travail intellectuel le cœur est soumis à une influence excitatrice d'origine nerveuse. En outre, il paraît démontré par un grand nombre d'expériences (Marey) que les changements dans la pression du sang produisent secondairement des changements dans la vitesse du cœur; le cœur bat d'autant plus fréquemment qu'il éprouve moins de peine à se vider, que la pression est plus basse; une pression forte ralentit les battements du cœur. Il est probable que cette raison mécanique n'intervient pas ici pour accélérer le cœur, car, ainsi que nous le verrons plus loin, le travail intellectuel provoque une augmentation de pression qui a pour effet de créer un

obstacle à la circulation et de ralentir par conséquent les battements du cœur. L'accélération du cœur pendant l'effort mental a donc lieu nonobstant ces raisons mécaniques, et elle a très probablement une origine nerveuse.

CHAPITRE II

INFLUENCE DU TRAVAIL INTELLECTUEL

SUR LA CIRCULATION CAPILLAIRE [1]

Les vaisseaux sanguins forment la partie la plus considérable de nos tissus ; ces vaisseaux sont doués de parois musculaires, qui peuvent, sous l'influence des nerfs vaso-moteurs qui se terminent dans ces parois, présenter des mouvements d'expansion ou de resserrement ; ces mouvements produisent des modifications importantes dans la circulation du sang, dans la quantité de sang qui circule, dans la pression du sang, dans la vitesse du courant ; il résulte aussi de ces mouvements des changements dans la coloration et dans la température des tissus ; enfin, il en résulte encore des changements dans le volume des organes ; par exemple si les artères et les artérioles de la main se resserrent, diminuent leur calibre sous l'influence des nerfs vaso-moteurs, qui déterminent une vaso-constriction — exemple qu'il est facile de réaliser en plongeant un instant la main dans l'eau froide — le cours du sang dans la main est ralenti, la pression artérielle augmente, la main devient blanche, exsangue, elle se refroidit et diminue de volume. Tous ces effets sont sous la dépendance d'une action des nerfs vaso-moteurs.

Les nerfs vaso-moteurs agissent, par voie réflexe, non

[1] Une partie importante des documents de ce chapitre est empruntée aux recherches de Binet et Courtier sur la circulation capillaire. *Année psychologique*, II et III.

seulement en réponse à des excitations extérieures comme celle du froid, mais à beaucoup d'excitations psychiques, surtout les excitations brusques et les émotions. Nous allons étudier comment ils se comportent sous l'influence du travail intellectuel.

Appareils. — Les changements de volume que notre corps présente d'une manière continue, par suite des dilatations et resserrements des vaisseaux sanguins, sont de valeur si faible qu'ils passent inaperçus à la vue aussi bien qu'au toucher ; il faut, pour les étudier, employer des appareils spéciaux, un peu compliqués, qui exigent pour la plupart les installations spéciales d'un laboratoire de physiologie. Ces appareils rendent visibles la dilatation et la constriction des membres, en faisant agir leur effet totalisé sur le niveau de l'eau contenue dans un tube d'étroit diamètre. C'est là le principe des appareils inventés par Piégu, Chelius, Fick, Mosso, François-Franck et ses élèves ; ces appareils consistent essentiellement dans des récipients pleins d'eau et en communication avec des tubes de verre ; on introduit la main, par exemple, ou le bras dans le récipient, qu'on ferme ensuite soigneusement ; et les augmentations et diminutions de volume de la main, agissant sur le liquide du récipient, et par là sur le liquide contenu dans le tube de verre, en élèvent et en abaissent le niveau. Piégu et Chelius[1] se sont contentés d'étudier *de visu* les oscillations de cette colonne liquide, et il est curieux qu'avec des moyens d'observation aussi grossiers ces auteurs aient pu analyser avec une grande approximation l'effet combiné qu'exercent sur le volume des membres le travail du cœur et les actes respiratoires.

Le physiologiste Fick a réalisé un grand progrès en appliquant à l'étude des changements de volume des

[1] *Vierteljahr. f. d. prakt. Heilkunde von d. Med. Facultät in Prag.* B. XXV-XXVI, 1850. Les détails que nous donnons sont empruntés à une thèse de A. Suc, Paris, 1879.

membres, la méthode graphique, que Ludwig venait d'introduire en physiologie ; Fick plaça sur le liquide du tube un flotteur portant un stylet terminé par une plume ; cette plume frottait contre un cylindre tournant, recouvert de noir de fumée et placé verticalement, et inscrivait par conséquent sur ce cylindre la hauteur des oscillations du

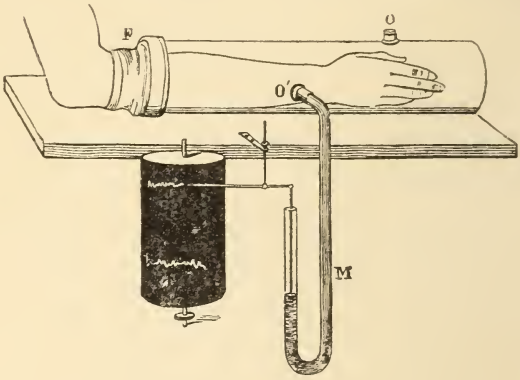

Fig. 14. — Pléthysmographe de Fick composé d'un cylindre dans lequel la main et l'avant-bras du sujet sont engagés ; le cylindre, rempli d'eau, est en communication par l'ouverture O' avec un tube en U (M) ; les oscillations du liquide dans la petite branche du tube en U sont transmises par un flotteur à un levier terminé par une plume qui écrit sur un cylindre tournant.

liquide et leur durée. Ces premiers tâtonnements de la méthode ont donné des résultats assez satisfaisants, si l'on en juge par les tracés que Fick a publiés ; nous signalerons notamment son tracé agrandi d'une pulsation [1].

A partir de Fick commence la période contemporaine des recherches ; dans cette période il y a deux noms qui reviennent constamment, ceux de Mosso et de Fr.-Franck : ces deux physiologistes ont inventé plusieurs appareils nouveaux et ils ont étudié les changements de volume des membres dans les conditions expérimentales les plus diverses. Quelques autres auteurs ont publié des travaux sur ces questions, mais leur rôle est resté secondaire.

[1] Comptes rendus du laboratoire de Fick, Zurich, 1869.

Mosso[1], négligeant les variations brusques de volume qui se lisent sur les tracés, a voulu mesurer exactement les pertes ou augmentations de volume qui se font à la suite

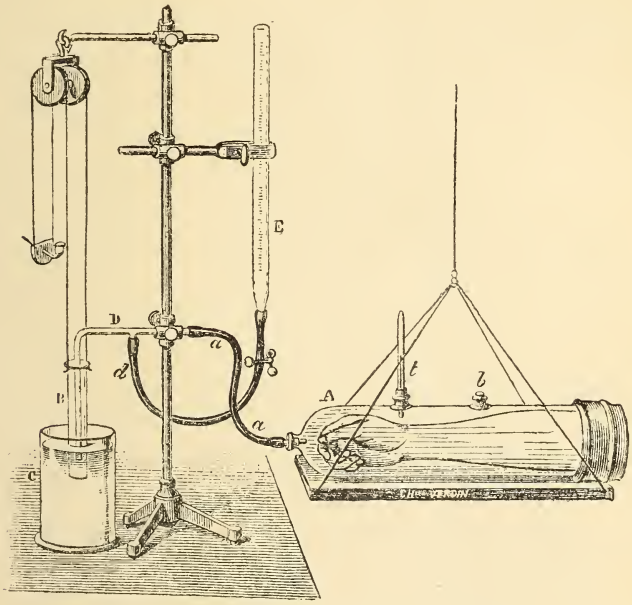

Fig. 15. — Hydrosphygmographe de Mosso.

d'actions très lentes ; dans ce but, il a modifié l'ancien appareil de Piégu et de Chelius ; au lieu d'étudier les mouvements du liquide dans un tube vertical, qui ne peut pas donner les changements absolus de volume, puisque à mesure que le liquide s'élève dans le tube, la pression change dans le récipient, il a fait communiquer le manchon de verre où le bras est enfermé (A) avec un tube (*a. a.* D) plongeant dans une éprouvette (B) suspendue à une poulie par un contre-poids ; l'éprouvette plonge en partie dans

[1] *Sulla circolazione del sangue del cervello dell' uomo.* Memorie R. Accad. dei Lincei, V, 1879, chap. VII.

un réservoir de liquide (*c*) ; elle plonge plus ou moins suivant que les changements de volume du bras font déverser de l'eau dans l'éprouvette ou laissent l'eau rentrer dans le manchon. Ces déplacements, écrits par une plume qui est fixée au contre-poids, peuvent indiquer les volumes d'eau déplacés, quand on connaît la densité du liquide dans lequel l'éprouvette plonge.

Fr.-Franck[1] s'est attaché de préférence à l'étude des variations brusques, qu'un tracé peut seul donner correctement. Son appareil (fig. 16) est une heureuse modification de celui de Fick ; il a substitué au flotteur muni d'une tige inscrivante la transmission par air et par membrane de caoutchouc. La main plonge dans un vase de verre cylindrique fermé en haut par une membrane de caoutchouc, à travers laquelle on a ménagé un orifice assez large pour l'introduction de la main : sur cette membrane se rabat un opercule de cuivre à deux valves, qui enserre l'avant-bras. A l'intérieur de l'appareil est une traverse de bois qu'on serre avec la main et qui est destinée à donner à la main une position solide et à empêcher ses mouvements. Le vase, rempli d'eau, communique par un tube avec le tambour inscripteur (non représenté sur la figure) ; ce tube présente, tout près du vase,

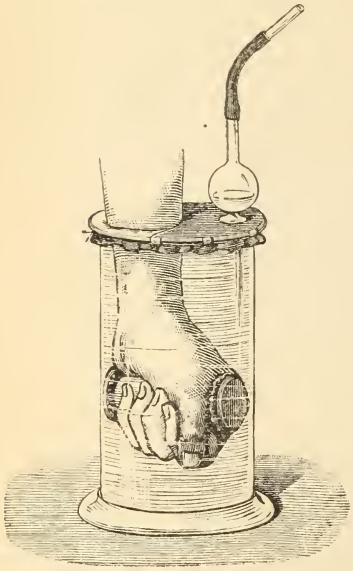

Fig. 16. — Appareil volumétrique de François-Franck.

[1] Le volume des organes dans ses rapports avec la circulation du sang. *Trav. lab.*, II, p. 7. Paris, Masson.

une dilatation en forme d'ampoule, destinée à éteindre les mouvements trop brusques d'ascension du liquide.

Pour supprimer différents inconvénients qui tiennent à la présence de l'eau dans le récipient, Fr.-Franck a eu aussi l'ingénieuse idée d'enregistrer directement au moyen d'un double levier amplificateur les changements de volume du doigt ; la pulpe du doigt reposant sur un plan résistant, on applique sur la face unguéale une tige verticale qui est en communication avec un système de leviers, et ceux-ci écrivent directement sur un cylindre, en les amplifiant, les déplacements de la tige verticale. Malheureusement cet appareil enregistre avec la plus grande facilité les déplacements involontaires de la main, qui s'inscrivent en même temps que les tracés volumétriques

Dans ces dernières années, Hallion et Comte [1], deux élèves de Marey et de Fr.-Franck, ont imaginé des pléthysmographes nouveaux qui présentent de grands avantages et sont destinés, croyons-nous, à beaucoup étendre les applications de la pléthysmographie. Les appareils que nous venons de décrire jusqu'ici sont, pour la plupart, volumineux et difficiles à déplacer ; ce sont des immeubles. Les pléthysmographes nouveaux sont portatifs ; ils sont légers, commodes et d'une construction très simple.

Ils sont fondés sur le principe suivant : l'organe à explorer, par exemple la main, est enfermé avec une ampoule en caoutchouc dans une enveloppe commune et rigide, de telle manière que les changements de volume de l'organe et de l'ampoule se font dans l'ordre inverse ; la main, en se dilatant, comprime l'ampoule et en réduit le volume ; au contraire, quand la main se resserre, l'ampoule, par suite de son élasticité, reprend son volume. Ces changements de volume de l'ampoule peuvent être inscrits par la méthode graphique. Nous avons donné plus haut l'explication de cette inscription : un tube de caoutchouc relie l'ampoule à

[1] *Arch. de physiologie*, 1894, nº 2, p. 381.

un tambour inscripteur ; ampoule, tube et tambour forment un système clos, et, si on exerce une pression sur l'ampoule, une certaine poussée d'air est produite, se propage dans le tube, arrive au tambour à levier inscripteur dont elle soulève la plume.

La nouvelle méthode pléthysmographique de Hallion et Comte a l'avantage de s'appliquer à l'étude d'un grand nombre d'organes variés ; en changeant la forme des

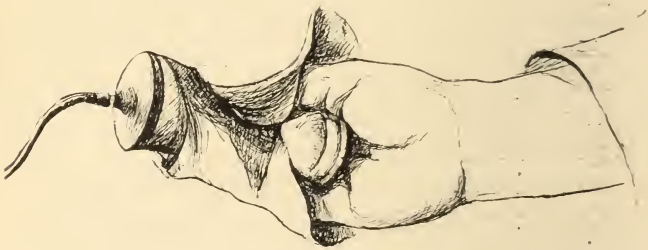

Fig. 17. — Pléthysmographe de caoutchouc de Hallion et Comte. Les doigts entourent un cylindre de caoutchouc et sont enveloppés d'une peau de gant. Le cylindre est en communication par un tube avec un tambour inscripteur (non représenté).

ampoules, on peut les adapter à des organes de forme bien différente ; deux valves de caoutchouc servent à enserrer le rein, par exemple, ou une partie du poumon, et à inscrire les changements totaux qui se produisent dans la circulation de ces organes, quand on exerce des compressions sur leurs artères ou leurs veines ou quand on excite les filets nerveux qui s'y rendent (c'est là du reste le principe de l'oncographe de Roy). Nous n'avons à nous occuper ici que de l'étude des parties périphériques, la seule qui soit applicable à l'homme, et nous envisageons le cas particulier où l'on étudie les changements de volume de la main. L'appareil employé (fig. 17) est un cylindre de caoutchouc ayant 9 centimètres de longueur ; les deux bases du cylindre sont fermées par des bouchons de liège ; à travers l'un des bouchons passe un tube de verre qui est relié à un tambour

enregistreur ; le sujet entoure de ses doigts le cylindre de caoutchouc, en disposant sa main de manière à ce qu'une des bases du cylindre vienne s'appuyer sur la paume de sa main et que ses doigts convergent vers l'autre base, celle qui est traversée par un tube de verre. L'immobilité la plus grande de la main est recommandée au sujet ; il ne doit pas chercher à comprimer le cylindre ou à mouvoir ses doigts. La main une fois en place, on la coiffe d'une peau de gant en forme de cône, qui doit être assez étroite pour exercer une légère compression sur la main.

Le sujet laisse reposer sa main, dans une position naturelle et sans effort, sur une table placée devant lui ; lui-même est assis. On attend un moment pour que l'appareil s'échauffe ; puis on assure la transmission du cylindre de caoutchouc avec un tambour inscripteur et un cylindre tournant. Au bout de quelque temps, surtout si le sujet a les mains chaudes (en hiver on fait les expériences dans une pièce bien chauffée) et si l'heure du dernier repas n'est pas trop éloignée, on voit la plume du tambour inscrire avec beaucoup de délicatesse le pouls et les autres détails de la courbe volumétrique, détails que nous allons décrire dans un instant.

Il est probable que si l'on doit, après examen, trouver une utilité à faire de la pléthysmographie dans les écoles pour mesurer les effets du surmenage, on donnera la préférence aux pléthysmographes en caoutchouc de Hallion et Comte. Ils sont bien plus commodes que les pléthysmographes à eau ; ces derniers sont compliqués et délicats ; il faut constamment surveiller les fuites de l'eau et le refroidissement de l'eau qui baigne la main ; par suite de ce refroidissement la circulation de la main change, et, quelques minutes après le commencement de l'expérience, on n'est plus dans les mêmes conditions qu'au début, à moins qu'on n'ait pris des précautions spéciales pour conserver l'eau à une température constante. Ajoutons qu'il faut un temps assez long pour introduire la main dans

l'appareil à eau et amorcer l'expérience. Aucun de ces inconvénients n'existe avec les pléthysmographes en caoutchouc : d'abord pas de fuite d'eau à redouter, pas de refroidissement de l'eau. Ensuite, il suffit d'une *demi-minute* pour appliquer l'appareil ; enfin, et c'est là le point le plus important, on arrive, avec un peu d'habitude, à faire des applications comparables ; ceci revient à dire qu'en enlevant et remettant plusieurs fois de suite l'appareil, on peut avoir chaque fois le même tracé, ce qui permet de comparer le pouls capillaire d'un moment à l'autre et même après un long temps d'intervalle. Nous n'aurions pas pu connaître les effets d'une marche ou d'une course sur le pouls capillaire si nous nous étions servi des anciens pléthysmographes.

Ce qui démontre mieux que tout le reste que les pléthysmographes en caoutchouc sont devenus des appareils pratiques, c'est que nous nous en sommes servi dans les écoles ; en deux matinées successives, nous avons pris le pouls capillaire de 45 élèves.

Tels sont les principaux dispositifs qui ont été employés pour enregistrer les changements de volume de la main, du bras et du pied. On a également étudié les changements de volume du cerveau chez des sujets qui, par suite d'un traumatisme ou d'une maladie, présentaient une brèche osseuse du crâne ; l'encéphale de ces sujets étant mis à découvert par cette perte de substance, on a étudié les changements de volume que l'encéphale subit sous différentes influences, comme le sommeil, les excitations des sens, la respiration et aussi le travail intellectuel. Les appareils utilisés ressemblent comme principe à ceux qui ont servi pour l'étude volumétrique de la main, sauf cette différence de détail que l'eau en a été exclue. On peut appliquer sur le cerveau ou les méninges, dans le cas de perte de substance, ou sur les cicatrices qui suivent les pertes de substance du crâne, ou encore sur les fontanelles pulsatiles des enfants, le bouton d'un tambour explora-

teur analogue à un cardiographe ; pour empêcher que ce tambour inscrive les changements de position de la tête, on le solidarise en quelque sorte avec la tête en le fixant sur elle avec des courroies : le bouton du tambour est tourné vers la plaie, et appuyé sur la masse encéphalique. Toutes les fois que cette masse augmente de volume, elle fait une hernie à travers l'ouverture osseuse et détermine une poussée sur le bouton du tambour ;

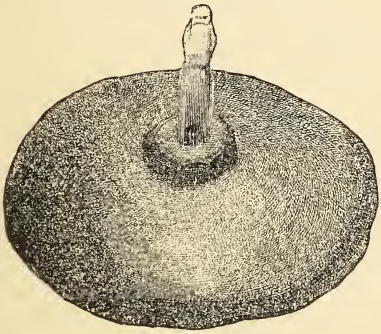

Fig. 18. — Appareil de Mosso pour recueillir les pulsations cérébrales à travers une brèche osseuse.

cette poussée, transmise par un tube de caoutchouc à un autre tambour, est inscrite sur un cylindre tournant qui enregistre ainsi une courbe fidèle des changements de volume du cerveau.

Un second procédé, qui a été souvent utilisé par Mosso, est encore plus simple ; Mosso recouvre la plaie d'une rondelle de gutta-percha (fig. 18), rendue bien adhérente et percée au centre d'un orifice par lequel passe un tube de verre ; ce tube de verre fait communiquer la plaie avec un tambour enregistreur, et ici encore une augmentation de volume du cerveau détermine directement une poussée de l'air dans le tube de verre, et cette poussée est inscrite par le tambour. La transmission par air permet d'inscrire graphiquement, comme nous l'avons montré précédem-

ment, tous les changements de volume et même la *forme* de ces changements.

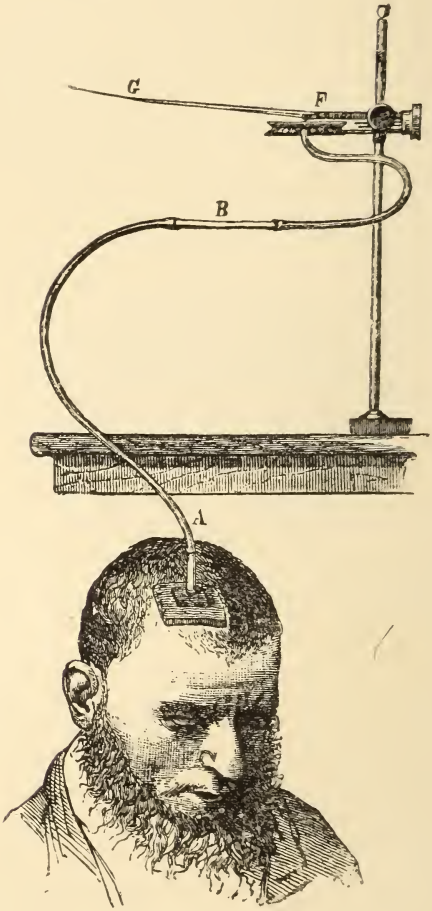

Fig. 19. — Figure schématique indiquant le dispositif employé par Mosso pour inscrire les changements du volume du cerveau chez un individu atteint d'une brèche cranienne.

Les courbes volumétriques. — Après la description des appareils, il faut indiquer quels sont les résultats que ces appareils fournissent.

Les changements de volume qui se produisent continuellement dans notre corps sont, avons-nous dit, sous l'influence de la circulation du sang.

Les changements de volume de la main, par exemple, expriment les changements dans la circulation de la main ; cette circulation spéciale est, on le sait, sujette à des variations très importantes ; suivant que la main est élevée ou abaissée, elle devient plus petite ou plus grande, par suite de la diminution ou de l'augmentation dans la quantité de sang qui est produite par le changement de position. Il y a dans le premier cas, quand la main est élevée, une *constriction passive* de la main ; lorsque la main est abaissée et tenue pendante, on dit qu'il y a *dilatation passive*. Ce sont des constrictions et dilatations mécaniques produites par le plus ou moins grand afflux de sang dans la main, et on les qualifie de *passives* pour les opposer à des changements de volume qui ont une tout autre cause, et qui sont produits par des actions réflexes.

Les changements par action réflexe sont sous la dépendance des nerfs dits vaso-moteurs, qui se rendent dans la tunique musculaire des artérioles. Lorsque, par suite de l'excitation de ces nerfs, la tunique musculaire se resserre, le sang est chassé des artères et l'organe s'anémie : c'est la *constriction active ;* lorsque la tunique musculaire se relâche, le sang augmente de quantité, et l'organe rougit : c'est la *dilatation active*.

La circulation périphérique est sujette à de nombreuses variations ; pendant l'heure qui suit le repas, ou après une marche, ou encore pendant le décubitus dorsal de la nuit, la circulation périphérique est active, on a le sang à la peau ; au contraire, en hiver, sous l'influence du froid, ou sous la douche, il arrive souvent que la peau pâlit par vaso-constriction réflexe. Enfin, suivant qu'on est debout, assis ou couché, la circulation capillaire se modifie.

Après ce rappel de notions physiologiques, jetons les yeux sur un cylindre enregistreur et voyons comment s'y

inscrit la courbe volumétrique. Les auteurs ont publié des courbes d'aspect bien différent, et, il faut le dire, de valeur bien inégale ; un œil exercé distingue facilement les causes d'erreur qui sont marquées sur quelques tracés. La première qualité d'une courbe volumétrique doit être d'indiquer le tracé du pouls capillaire. Si la courbe est composée d'une ligne droite à peu près uniforme, et sans pouls capillaire, la raison de cette absence du pouls capillaire peut être double : ou bien le sujet qui a fourni cette courbe était en état de constriction, par suite de la froideur de ses mains ou de l'état d'émotion qu'il éprouvait, et cette constriction réflexe a supprimé son pouls ; ou bien — et cette seconde raison est plus souvent vraie que la première — le pléthysmographe qu'on a employé est défectueux, il est composé de parties nombreuses dont l'inertie s'oppose à l'inscription d'un mouvement aussi léger que celui du pouls.

On peut se demander pourquoi nous exigeons d'une courbe volumétrique qu'elle marque le pouls capillaire ; c'est parce que c'est le meilleur moyen d'éviter les causes d'erreur provenant d'un mouvement en totalité de la main ou des doigts dans l'appareil. Le moindre de ces mouvements altère la forme du pouls, et cette altération suffit à nous avertir qu'un mouvement s'est produit. En outre, dans les pléthysmographes en caoutchouc, où la transmission par air est parfaite, les mouvements artificiels de la main produisent des traits brusques. Si le pouls n'est pas inscrit par la courbe, des mouvements de la main ne peuvent pas l'altérer, et c'est une raison pour qu'on ne puisse pas les reconnaître sûrement : ajoutons que dans le cas où on a employé un pléthysmographe à eau, les mouvements de déplacement de la main ne s'écrivent pas en traits brusques, ce sont des ondes arrondies, suivies souvent d'ondes secondaires et montrant que le liquide de l'appareil a opposé une inertie aux mouvements de la main. On peut se convaincre de la réalité de cette explication en interposant

dans le tube en caoutchouc d'un pléthysmographe à air un tube de verre en U, rempli d'eau ou de mercure ; les mouvements de la main dans le pléthysmographe ne peuvent se transmettre au tambour inscripteur qu'après avoir passé par le tube en U et en avoir déplacé le liquide ; ce liquide interposé ralentit le mouvement et le déforme, et sur le cylindre on voit s'inscrire une série d'ondulations lentes, qui se succèdent en diminuant d'amplitude. Il est curieux de retrouver sur quelques tracés volumétriques publiés par les auteurs des ondes de ce genre, qui ont été attribuées à des changements de volume de la main, et qui très probablement sont dues aux oscillations qu'un mouvement brusque de la main a imprimées au liquide intérieur du pléthysmographe.

Revenons maintenant au pouls capillaire, que l'on doit trouver sur tout tracé volumétrique correct. Cette pulsa-

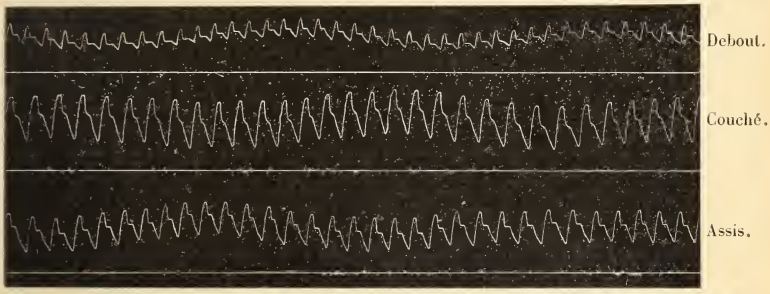

Fig. 21. — Pouls capillaire de la main pris chez un même sujet lorsque celui-ci est debout, couché et assis.

tion est dite capillaire parce qu'elle est produite par la poussée du sang, à chaque systole cardiaque, dans le réseau des artérioles de l'organe exploré ; et le pouls qui s'inscrit n'est pas celui d'une artériole quelconque, c'est le pouls de toutes les artérioles, c'est un *pouls totalisé* du membre. Nous avons figuré plus haut (voir fig. 5) le pouls des artères, notamment le pouls de l'artère radiale ; il est

très analogue au pouls capillaire, mais les deux graphiques présentent cependant quelques différences ; le pouls capillaire a en général le sommet moins aigu, le dicrotisme moins accusé et placé moins bas sur la ligne de descente que dans le poul radial.

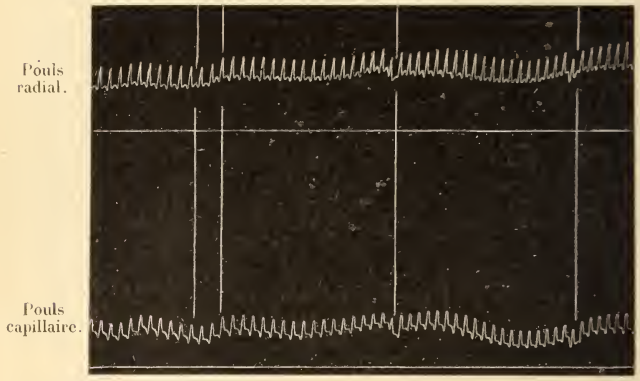

Fig. 22. — Ce tracé indique nettement les différences entre le pouls radial et le pouls capillaire de la main. Le tracé supérieur correspond au pouls radial. On voit que le dicrotisme dans le tracé du pouls capillaire est placé moins bas que dans celui du pouls radial ; de plus, il est moins accentué dans le pouls capillaire et enfin le sommet de la pulsation n'est pas aussi pointu dans le pouls capillaire que dans le pouls radial.

La figure 22 permet d'en juger ; elle reproduit le pouls capillaire et le pouls radial pris simultanément sur la même main ; on voit que le pouls capillaire est, dans tous ses détails, plus émoussé que le pouls radial. Cette différence serait insignifiante si elle se reproduisait sur quelques tracés seulement, car on pourrait l'attribuer à une différence d'application des appareils, mais c'est une différence tout à fait constante.

Le pouls capillaire présente de bien grandes variétés de formes ; ces variétés dépendent d'une foule de causes, de l'heure de la journée, du repas, de la température, de l'état physique et moral de l'individu, et aussi de sa personnalité. Chaque personne a son pouls capillaire qui se distingue

de celui des autres personnes par quelque particularité.

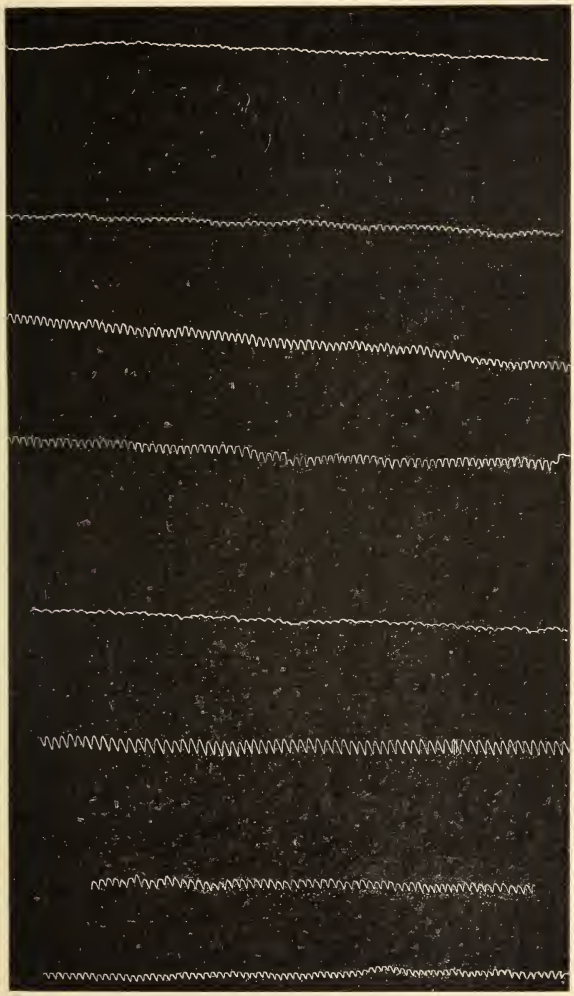

Fig. 23. — Série de tracés du pouls capillaire pris chez des enfants de douze à treize ans, le même jour, à la même heure, dans la même classe et avec le même appareil.

Pour donner une idée de cette variété des pouls capillaires,

nous en publions ici quelques tracés pris sur des enfants (fig. 23).

Tous ces tracés ont été enregistrés avec le même appareil, mais à des heures différentes de la journée. Il y a, comme on le voit, des différences d'amplitude et aussi des différences de formes. Chez les enfants, la pulsa-

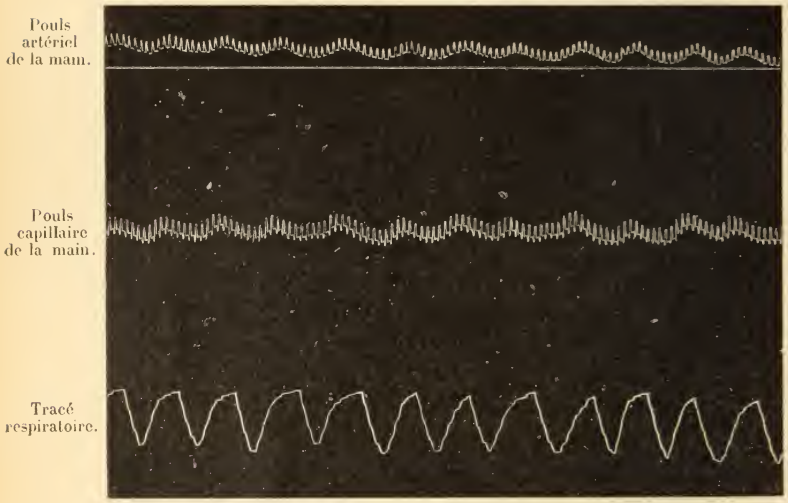

Fig. 24. — Cette figure est donnée pour montrer que les ondulations de la courbe du pouls correspondent aux respirations.

tion se termine souvent en plateau, au lieu de se terminer en pointe.

Beaucoup de tracés volumétriques présentent comme seul détail la pulsation capillaire. On trouve en outre, sur d'autres tracés (fig. 24), une onde un peu plus longue que celle du pouls : c'est un soulèvement arrondi du tracé, sur lequel le pouls continue à se marquer ; ces ondes correspondent comme durée aux actes respiratoires ; à chaque inspiration la ligne générale du tracé s'élève un peu, et elle redescend pendant l'expiration. On donne à ce phénomène le nom d'*oscillation respiratoire*. Parfois l'oscillation est

double, c'est-à-dire il y a deux oscillations pendant une respiration.

Enfin, on lit sur quelques tracés une ondulation de longueur plus grande, correspondant à trois ou quatre respirations; c'est ce que Mosso a appelé les *ondulations vasomotrices*. Il y a souvent des changements, dans le rythme du cœur, qui sont liés à ces divers ordres d'ondulations.

Tels sont les caractères normaux d'un tracé pléthysmographique, ceux qui se présentent pendant l'état de repos et en dehors de toute excitation spéciale.

Influence du travail intellectuel sur la quantité de sang dans le cerveau. — A l'étude de la circulation du sang dans le cerveau pendant le travail intellectuel se rattache le nom de Mosso, le célèbre physiologiste de Turin, qui le premier a vu clair dans cette question compliquée; avec une grande sûreté et une belle richesse de méthode (pléthysmographes de divers ordres, balances, etc.), Mosso a étudié les changements de volume du cerveau chez les individus qui présentaient par accident des pertes considérables des os craniens. Il a constaté que, pendant l'activité intellectuelle dépensée à faire un calcul mental, ou sous l'influence des émotions, le volume du cerveau augmente.

C'est une observation qui a été reproduite et confirmée depuis par beaucoup d'auteurs, et il n'y a pas lieu de douter de son exactitude. On avait objecté autrefois que ce changement de volume du cerveau pendant le travail intellectuel est peut-être dû à des changements de la respiration, qui se produisent pendant la fixation de l'attention; mais il est avéré qu'alors même que la respiration ne se modifie pas, pendant un calcul mental, le cerveau n'en augmente pas moins de volume.

Le tracé suivant est un des plus beaux que Mosso ait publiés. L'expérience a été faite sur un paysan atteint de perte de substance du crâne; on a enregistré simultanément le pouls cérébral et le pouls capillaire de l'avant-

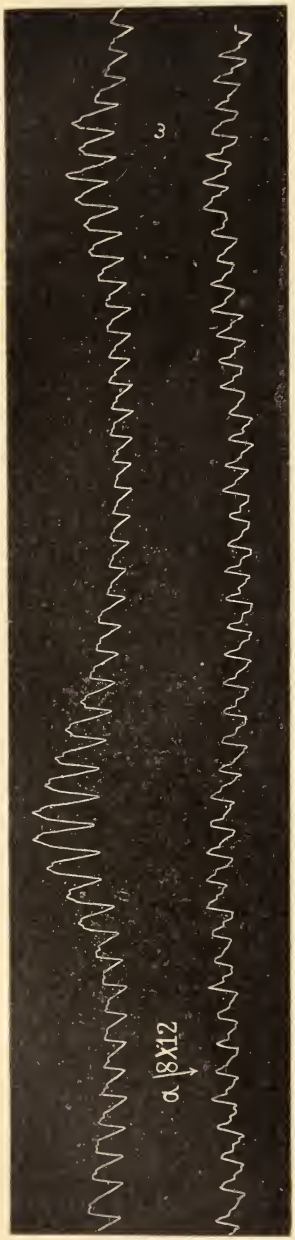

Fig. 25. — Le tracé supérieur correspond au pouls cérébral ; le tracé inférieur au pouls capillaire de l'avant-bras. De α à ω le sujet fait un calcul mental (8 X 12). On remarque que la courbe du pouls cérébral s'élève pendant le calcul mental, et les pulsations augmentent d'amplitude, surtout au début du calcul. Dans le tracé du pouls de l'avant-bras, il n'y a presque pas de changement (Mosso).

bras. Pour provoquer l'effort intellectuel, on a fait faire à ce paysan un calcul mental, en α ; peu après, la ligne générale du tracé cérébral s'est élevée et les pulsations ont eu plus d'amplitude ; il n'y a pas eu de variation importante dans la circulation de l'avant-bras, ce qui permet de conclure que le changement du tracé cérébral n'est pas dû à un changement dans l'impulsion cardiaque, car dans ce cas, il aurait retenti sur la circulation du bras.

Gley, par de nombreuses expériences faites sur lui-même, en enregistrant le pouls carotidien pendant la lecture, a confirmé et précisé cette observation [1] ; il a montré que l'augmentation de l'afflux de sang dans le cerveau ne tient pas à une suractivité du cœur, mais bien à une influence vaso-motrice, à une vaso-dilatation ac-

[1] *Étude expérim. sur l'état du pouls carotidien pendant le travail intellectuel*, Paris, 1881.

tive des carotides. C'est du moins de cette manière qu'il interprète les très beaux tracés de pouls carotidien qu'il a

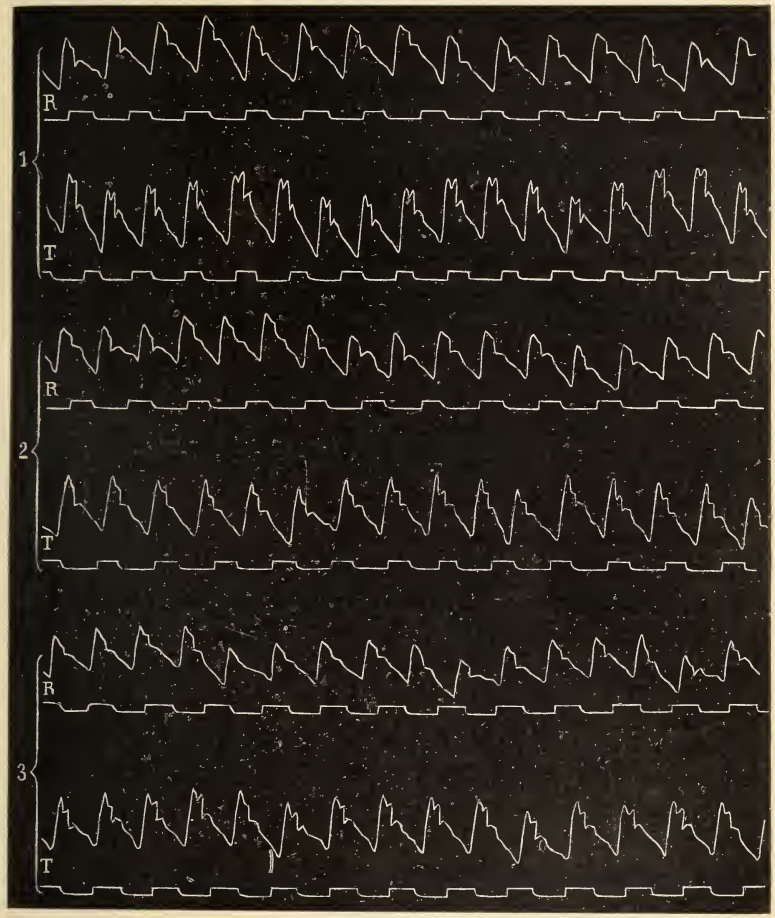

Fig. 26. — Graphiques du pouls carotidien pris par Gley sur lui-même. R indique les pulsations pendant le repos et T pendant le travail intellectuel.

enregistrés. Nous donnons une reproduction de ses tracés et un résumé de son interprétation (fig. 26). Les tracés mon-

trent que pendant le travail intellectuel la pulsation carotidienne augmente d'amplitude et que ses dicrotismes deviennent plus accusés. L'auteur interprète ces changements de forme comme un signe de vaso-dilatation active de la carotide, parce que : 1° une augmentation d'amplitude correspond à une augmentation de dilatation artérielle ; 2° il y a une diminution de pression artérielle, puisque le pouls est devenu plus fréquent; or, la diminution de pression a pour effet d'augmenter l'amplitude du pouls[1] ; 3° une diminution de tension artérielle peut expliquer l'accentuation du dicrotisme.

Des recherches ultérieures de Mosso lui-même[2], de Morselli et Bordoni-Uffreduzzi[3], de Fr. Franck[4], de Sarlo, de Binet et Sollier[5] et, enfin, les recherches toutes récentes de Patrizi[6] sur la circulation cérébrale, semblent avoir mis hors de doute ce premier fait, d'une importance capitale, que le cerveau augmente de volume pendant son état d'activité. C'est une notion qui ne sera plus ébranlée.

Un second fait a été bien étudié par Mosso et revu, sous des formes diverses, par ses successeurs : c'est que les perceptions inconscientes peuvent, comme les perceptions conscientes, provoquer un afflux de sang au cerveau. Mosso inscrivait le pouls cérébral d'un sujet endormi et constatait que toutes les fois qu'un bruit inopiné, bruit de parole, de porte, etc., se faisait entendre dans le laboratoire silencieux, le pouls s'élevait en dilatation sur le tracé, bien que le sujet ne se fût pas réveillé. Tamburini et Sep-

[1] Ce second raisonnement ne nous paraît pas absolument rigoureux ; nous verrons que pendant le travail intellectuel la pression du sang augmente.

[2] *La temperatura del cervello;* le chapitre XII contient plusieurs expériences pléthysmographiques.

[3] *Sui cangiamenti della circolazione cerebrale prodotti dalle diverse percezioni simplici* (*Arch. di psychiatria*, 1884).

[4] Article *Cerveau*, du *Dictionnaire encyclopédique des Sciences médicales.*

[5] *Arch. de Physiologie*, 1895.

[6] *Rivista musicale italiana*, III, 2, 1896.

pili[1] ont fait des observations analogues sur le pouls de l'avant-bras chez une femme hystérique qu'ils avaient endormie en léthargie, et qui semblait être séparée complètement du monde extérieur ; une piqûre d'épingle, l'articulation du nom de la malade, impressionnaient son pouls. Enfin, Hallion et Comte, tout dernièrement[2], ont répété, confirmé et étendu cette expérience, qu'ils ignoraient d'ailleurs, sur des hystériques de la Salpêtrière, mises en état de léthargie, et sur des hystériques anesthésiques totales ; la piqûre non vue et non sentie provoque une vaso-constriction, et une parole qui ne paraît pas entendue amène le même effet.

Il ne résulte pas rigoureusement de ces expériences, cela va sans dire, que les impressions produites sur les hystériques ont été inconscientes au moment de leur production ; peut-être dans certains cas y a-t-il eu conscience fugitive, suivie d'oubli. Mais ce qu'on doit considérer comme prouvé, c'est que chez certains individus l'activité cérébrale peut continuer son office sans que leur conscience actuelle en donne le témoignage. Le témoignage de la conscience est moins sûr dans ce cas que celui du tracé.

Nous trouvons encore, dans cet ensemble de recherches, à citer un troisième fait bien intéressant pour la psychologie, c'est que le changement de volume du cerveau qui a lieu par excitation psychique ou travail intellectuel est *lent à se produire ;* le temps nécessaire à sa production dépasse de beaucoup le temps physiologique de perception. Aussi a-t-on été forcé d'admettre — et Morselli (cité plus haut) a insisté un des premiers sur ce point important — que l'hyperhémie du cerveau n'est pas une cause, une condition de l'activité psychique, elle en est bien plutôt un effet, puisqu'elle suit la mise en jeu de cette activité.

Mosso partage vraisemblablement cette opinion. Dans

[1] Tamburini e Seppili, *Ricerce sui fenomeni di moto...*, etc. (*Riv. speriment. d. fren.*, Reggio-Emilia, 1882).

[2] *Arch. de Physiologie*, 1895, p. 90.

son ouvrage populaire sur *la Fatigue* (p. 112 de la traduction française), Mosso admet que les phénomènes circulatoires n'ont pas, dans le travail intellectuel, l'importance qu'on leur a attribuée : « La cellule nerveuse, dit-il, a assez de matériaux de réserve pour subvenir aux actes de conscience sans avoir besoin d'une modification correspondante dans l'afflux du sang. On a vu, chez les personnes qui ont une lacune dans l'étendue des parois osseuses du crâne, le phénomène de l'attention commencer avant qu'il y eût le moindre changement dans la circulation cérébrale. »

C'est à cette conclusion que nous arrivons nous-mêmes d'une manière indépendante, en étudiant l'effet de la surprise sur le pouls de l'avant-bras ; ce n'est que deux secondes après qu'on a ressenti le choc de surprise que le pouls de l'avant-bras se modifie ; et, par conséquent, on ne saurait considérer avec Lange et James l'état de surprise comme ayant pour base la perception d'une modification vasomotrice. Enfin tout récemment Patrizi [1] a fait des expériences sur la circulation cérébrale pendant les temps de réaction, et les conclusions qu'il en tire sont une confirmation des précédentes. On sait que le tracé de la circulation cérébrale présente souvent de grandes ondulations, dites vaso-motrices, qui indiquent que la quantité de sang varie régulièrement d'un moment à l'autre dans l'organe. Patrizi inscrivait chez un jeune garçon atteint d'une brèche cranienne ces modifications de la circulation cérébrale, et en même temps il faisait faire à son sujet des temps de réaction. Lui-même donnait les signaux tout en surveillant la courbe circulatoire qui se traçait devant ses yeux sur un cylindre. Il avait soin de donner les signaux de réaction tantôt quand la courbe atteignait son maximum de hauteur, et tantôt quand la courbe descendait au minimum ; il pouvait ainsi avoir des temps de réaction exécutés

[1] Voir l'analyse dans l'*Année psychologique*, III, p. 359.

pendant des états extrêmes d'anémie et d'hyperhémie. Il a calculé la moyenne de durée pour ces deux genres de réaction et n'a pas trouvé de grande différence. Ainsi, 128 réactions ont été faites en concordance avec le volume cérébral maximum ; le temps moyen a été de 332 millièmes de seconde ; 116 réactions ont coïncidé avec le volume cérébral minimum ; le temps moyen a été de 345 millièmes de seconde. Une différence de 13 millièmes de seconde n'a aucune importance et ne signifie rien. Ces recherches démontrent donc encore une fois que dans les limites des conditions normales les changements de quantité de sang en circulation dans le cerveau ont moins d'influence qu'on ne l'avait supposé sur les phénomènes psychiques.

Telles sont à peu près, si nous ne nous trompons, les notions acquises aujourd'hui sur les changements de volume du cerveau pendant l'activité intellectuelle ; nous laissons de côté, bien entendu, beaucoup de recherches connexes, et notamment tout ce qui concerne l'échauffement de la masse cérébrale pendant le travail psychique, parce que l'étude de la température n'est pas notre sujet dans ce chapitre. Il reste à dire quelles sont les questions qui sont encore discutées. La principale est celle du mécanisme par lequel se fait l'afflux du sang au cerveau. Mosso, dans ses premières recherches, avait constaté une constriction de l'avant-bras correspondant à la dilatation cérébrale pendant que son sujet exécutait un calcul mental, et il en avait conclu l'existence d'un antagonisme entre le cerveau et le reste du corps. Ses expériences avec la balance, quoique moins probantes, parlaient dans le même sens. Puis d'autres auteurs ont discuté et expérimenté pour savoir si le cerveau est hyperhémié par une dilatation active de ses vaisseaux, ou s'il se congestionne passivement par suite d'un afflux de sang chassé vers la tête par les autres organes du corps [1]. Aucune preuve péremptoire n'est venue

[1] Mosso a exposé brièvement cette discussion dans son livre sur la *Température du cerveau*, cité plus haut.

trancher le débat. Mais ce qui paraît assez bien établi, c'est qu'on ne peut plus croire à un antagonisme entre la circulation du cerveau et celle des membres. Une foule d'épreuves sont en contradiction avec cette conception simpliste. Mosso lui-même l'abandonne aujourd'hui.

Dans son ouvrage récent sur *la Température du cerveau* [1], il a repris l'étude volumétrique du cerveau sur un individu dont les méninges étaient mises à nu par une plaie de l'occipital.

Il a fait sur ce sujet un grand nombre d'expériences de calcul mental, accompagnées de très beaux tracés (voir le chapitre XII) ; il prenait à la fois le volume du cerveau, celui de l'avant-bras et celui du pied. L'ensemble des tracés montre avec évidence que ces trois courbes sont, dans une large mesure, indépendantes les unes des autres.

D'une part, il peut arriver, en dehors du travail intellectuel et de toute cause connue, qu'il se produise une constriction des artérioles de la jambe, sans dilatation correspondante du cerveau ; d'autre part, quand, pendant le travail intellectuel, il y a une dilatation du cerveau et une constriction de l'avant-bras et du pied, l'augmentation de volume du cerveau atteint son maximum bien avant que le pied et l'avant-bras aient atteint leur minimum de volume ; en outre, l'augmentation du cerveau est tout à fait insignifiante par rapport à la constriction des autres parties du corps. Ces trois raisons sont les principales qui font admettre à Mosso que les théories des précédents auteurs sur les relations de la circulation cérébrale et de la circulation des membres sont fausses. D'après l'une de ces théories, le cerveau qui travaille se dilaterait activement, attirerait le sang dans ses vaisseaux et produirait indirectement l'anémie du reste du corps ; interprétation inexacte, puisque la perte de volume de la main et du pied est beaucoup trop considérable pour être un effet indirect de la con-

[1] Voir *Année psychologique*, I (1894), p. 300, 1895.

gestion du cerveau. D'après l'autre théorie, le cerveau serait dilaté passivement par le refoulement du sang qui est chassé de la périphérie par des vaso-constritions. Cette seconde théorie est peut-être moins fortement ébranlée par les expériences; elle est cependant peu vraisemblable, puisque des vaso-constrictions très accentuées des membres peuvent se produire sans déterminer un changement de volume du cerveau. Bref, Mosso conclut à l'indépendance des organes ; le cerveau posséderait un système vaso-moteur autonome qui aurait pour but de régler la circulation cérébrale dans la mesure où cela est nécessaire pour l'état fonctionnel de cet organe.

Enfin, dans un tout récent travail où il a examiné l'effet de la musique sur la circulation cérébrale d'un enfant ayant une brèche cranienne, Patrizi est arrivé à des conclusions sensiblement équivalentes sur l'indépendance de la circulation cérébrale. Pendant l'audition de la musique, il se produit constamment chez son sujet une dilatation du cerveau ; mais les changements de volume des membres sont extrêmement variables; tantôt il y a dilatation du bras, tantôt constriction, tantôt il ne se produit aucun changement appréciable. Ces expériences pas plus que les précédentes ne peuvent être considérées comme définitives ; la matière est trop délicate et le nombre des sujets est trop restreint. Mais il nous semble que la théorie de l'antagonisme entre la circulation du cerveau et celle des membres perd beaucoup de chances d'être vraie.

Nous n'avons pas parlé, dans tout ce qui précède, des expériences sur les animaux. Il faut cependant rappeler que beaucoup de physiologistes, et notamment Wertheimer, ont réalisé des expériences dans lesquelles une constriction du territoire abdominal a provoqué une dilatation du cerveau (*Arch. de Physiologie*, 1893, 2, p. 297).

En résumé, voici les points qui paraissent acquis :

1° Augmentation de volume du cerveau pendant le travail intellectuel ;

2° Cette augmentation de volume n'a pas lieu avant, mais quelque temps après le début du travail cérébral ; elle n'est pas une cause, mais un effet ;

3° On ignore le mécanisme par lequel se fait l'augmentation de circulation dans le cerveau pendant le travail intellectuel.

Les recherches sur la circulation cérébrale ne peuvent offrir qu'une utilité indirecte à la pédagogie, puisqu'elles ne peuvent être faites que sur des sujets exceptionnels. Il faut cependant espérer que les résultats obtenus par ces recherches pourront, en nous faisant connaître ce qui se produit dans le cerveau pendant un effort mental, nous faire mieux comprendre les effets observables sur d'autres parties du corps.

Influence du travail intellectuel sur la circulation du sang dans la main. — Les auteurs qui ont contribué à l'étude de cette question sont nombreux; il suffira de citer les noms de Mosso, Gley, Mac Dougall et les recherches de l'un de nous (Binet) en collaboration avec Courtier. Nous allons exposer les principaux effets qu'on observe, en envisageant deux formes principales de travail intellectuel, le travail court et intense, et le travail prolongé et modéré.

1° *Travail intellectuel court et intense.* — Le type de ce travail est, nous l'avons dit, une multiplication mentale. Ce n'est que deux à trois secondes après le début du travail intellectuel que ses effets se manifestent ; les expériences sur la circulation capillaire de la main pendant l'effort intellectuel confirment les observations de Mosso et de Morselli, que nous avons signalées plus haut : le travail intellectuel n'est pas un effet de ce changement circulatoire, il en est la cause.

Dans la description qui va suivre, nous ferons une synthèse de tous les symptômes qui peuvent se produire ; ils

ne se produisent généralement pas tous au même degré, chez un seul individu ; il y a de très grandes variations individuelles. Telle personne est remarquable par ses vaso-constrictions ; telle autre, par les modifications de son rythme respiratoire.

1° Le premier effet est une élévation du tracé capillaire ; cette élévation, signalée par Lehmann, est de nature inconnue ; elle manque chez beaucoup de sujets ; elle est, au contraire, très accentuée chez d'autres. Nous donnons un exemple pris chez Mme Bil..., à qui on a fait répéter des séries de 8 chiffres prononcés devant elle (fig. 27) ; l'audition des chiffres à retenir exige un vigoureux effort intellectuel. Cette expérience a été faite vingt fois de suite, en laissant écouler entre chaque répétition un petit intervalle de repos. Nous constatons que l'élévation du tracé n'a manqué que trois fois sur les vingt expériences. Dans la figure, on voit que, pendant l'audition des chiffres, il y a eu une élévation du tracé ; puis un commencement de vaso-constriction se dessine.

2° Le second effet de la concentration de l'attention est une vaso-constriction réflexe (fig. 28) ; elle manque, et même totalement, chez certains sujets, mais elle existe chez la plupart, elle apparaît quelques secondes après la concentration d'esprit et dure un temps variable ; elle peut persister pendant toute la durée du travail intellectuel, ou cesser quelques secondes après le début du travail intellectuel.

Nous avons dit plus haut ce que c'est qu'une vaso-constriction réflexe : c'est un état de contraction des fibres musculaires qui existent dans les parois des artérioles ; sous l'influence d'une excitation provenant des centres nerveux, ces fibres musculaires se contractent, et leur contraction a pour effet de diminuer l'ouverture, la lumière des artérioles dans lesquelles le sang circule. Il en résulte que le sang contenu dans les artérioles en est chassé vers les capillaires et les veines, et que le sang nouveau apporté

par les grandes artères trouve devant lui un obstacle formé par le resserrement des artérioles : par conséquent la quantité de sang en circulation dans l'organe où la vaso-cons-

Fig. 27. — Ascension du tracé capillaire au début du travail intellectuel. Expérience sur Mme B... Le travail intellectuel consiste dans l'audition et la répétition de chiffres.

triction se produit, diminue, l'organe s'anémie, il devient plus pâle, plus froid, plus petit.

La vaso-constriction réflexe de la main se manifeste sur les tracés par trois caractères principaux : il y a une des-

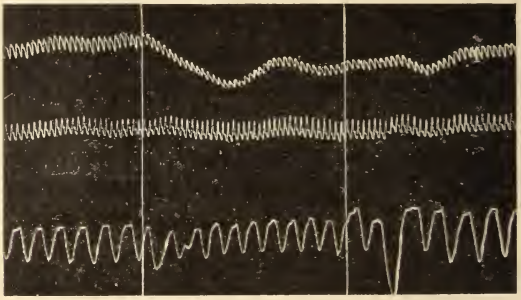

Fig. 28. — Vaso-constriction réflexe pendant un calcul mental, chez M. P... Le calcul mental a lieu entre les deux verticales. Le tracé capillaire présente une brusque descente au commencement de l'effort mental, qui consistait à multiplier 28 par 79. Le tracé radial, placé en dessous, épouse les oscillations du tracé capillaire, en les atténuant. La respiration est accélérée.

cente du tracé, qui résulte de ce que le membre a diminué de volume, et il y a aussi un changement dans la grandeur et la forme du pouls capillaire.

Le changement dans la grandeur du pouls capillaire est un phénomène qui est en général très apparent, même

sur de mauvais tracés. On peut dire d'une manière générale que le graphique du pouls se rapetisse pendant la vaso-

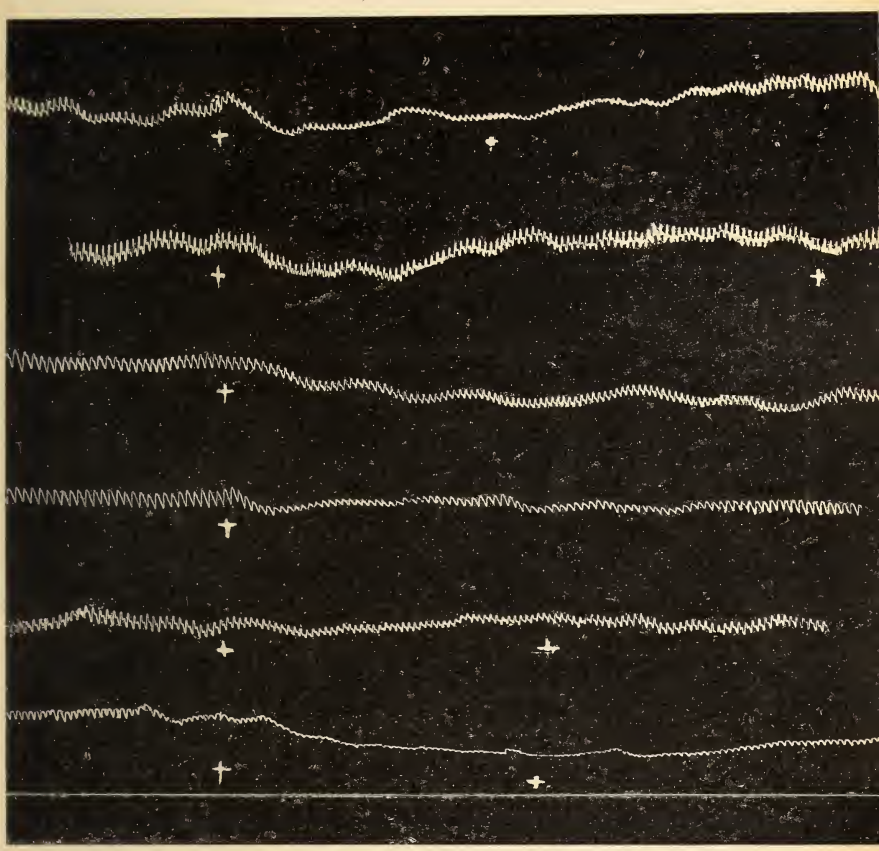

Fig. 29. — Vaso-constrictions réflexes produites par le calcul mental chez des adultes différents. Les croix blanches de gauche indiquent les moments auxquels les sujets ont commencé à faire un calcul mental. La deuxième croix correspond à la fin du calcul. On voit qu'il y a des différences individuelles très fortes et pour la forme du pouls capillaire et pour les modifications produites par le calcul mental.

constriction ; il peut diminuer à peine de grandeur, ou bien sa diminution peut être très appréciable, du tiers ou de moitié. Chez quelques personnes, le pouls pendant l'effort

intellectuel diminue au point de disparaître complètement ; il est alors remplacé par une ligne droite à peine ondulée.

Nous donnons les tracés que nous avons obtenus chez six adultes et chez deux élèves de douze ans. Le rapetissement du pouls est très net (fig. 29, 30 et 31).

Quant à la forme du pouls, elle varie aussi pendant la vaso-constriction ; on peut surtout bien étudier ces variations sur les beaux graphiques, où le pouls capillaire présente une forme bien accusée. La vaso-constriction a parfois

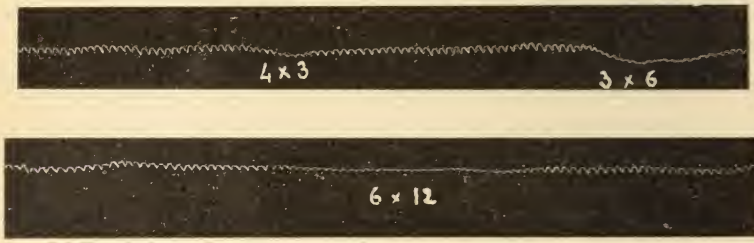

Fig. 30 et 31. — Pouls capillaire de la main pris chez deux enfants de douze ans. On voit que pendant le travail intellectuel il se produit un rapetissement du pouls.

une tendance à accentuer les caractères de la pulsation ; la pointe devient plus aiguë et le dicrotisme prend une forme plus arrondie ; en outre, le dicrotisme est placé plus bas sur la ligne de descente. Ces changements de forme se reconnaissent si on compare la pulsation pendant le travail intellectuel à ce qu'elle était quelques secondes avant le début de ce travail. Mais ces changements de forme sont assez rares, et on perdrait son temps à les chercher sur le premier tracé venu.

On constate le plus fréquemment que, pendant le travail intellectuel, il se produit un effet inverse du précédent, un *amollissement de la pulsation ;* toutes les aspérités du graphique ont une tendance à s'émousser, et le dicrotisme prend une forme moins rebondie, plus oblique (fig. 32).

Nous en donnons dans la figure 33 un bon exemple ; il s'agissait d'un calcul mental d'une difficulté modérée : 32 × 87.

Antérieurement à l'expérience, le pouls était fort, avec dicrotisme rebondi et vitesse de quatre-vingts pulsations par minute. Quand le travail intellectuel commence, le pouls ne change pas de vitesse ; mais au bout de huit secondes, le dicrotisme à forme rebondie s'atténue et est

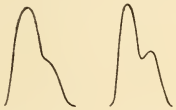

Fig. 32. — Figure schématique d'une pulsation montrant le changement dans la forme du pouls qui se produit pendant le travail intellectuel. Le tracé de droite correspond à la pulsation normale, le tracé de gauche indique la forme du pouls pendant le travail intellectuel. On voit comment le dicrotisme peut être amolli pendant le travail intellectuel.

remplacé par une ligne horizontale ; la transition se fait de la manière la plus graduelle, elle est complète à la trentième seconde ; à ce moment le pouls est devenu un peu plus rapide et il est de 84 pulsations par minute. Le travail intellectuel se termine au bout d'une minute, et la solution indiquée est juste. Aussitôt après, le cœur se ralentit, les pulsations ne sont plus que de 74 par minute ; ce ralentissement dure environ une minute, puis le cœur revient à son activité primitive de 80 pulsations par minute. Quant à la forme primitive de la pulsation, elle n'est reprise que trois minutes après la fin du travail intellectuel.

En résumé, un travail intellectuel court et intense produit successivement dans la circulation capillaire de la main : 1° une courte élévation du tracé ; 2° une vasoconstriction réflexe, qui s'exprime par une diminution de volume de la main et un rapetissement du pouls avec parfois accentuation de sa forme, et plus souvent un amollissement de la pulsation.

Pour comprendre la signification de ces effets physiologiques, il faut les comparer à ceux qui se produisent dans d'autres circonstances.

Fig. 33. — Amollissement du dicrotisme pendant une expérience sur le travail intellectuel. M. C... Multiplication mentale de deux chiffres par deux chiffres. Le dicrotisme de la pulsation commence à s'atténuer 40 secondes environ après le commencement de l'effort intellectuel.

La vaso-constriction réflexe qui signale le début du travail intellectuel n'a rien de caractéristique, elle s'observe dans une foule de conditions; on la provoque, par exemple, chez presque tous les sujets par une excitation brusque ; un son, une surprise, une émotion vive déterminent, comme un effort intellectuel, la descente du tracé (fig. 34). Quant à l'amollissement de la pulsation, qui se produit quelque temps après, et surtout quand l'effort mental a été intense, on l'observe encore dans les efforts musculaires énergiques, par exemple lorsque le sujet serre fortement un dynamomètre ; ce n'est pas un effet constant, mais on le remarque assez souvent ; au bout de quelques secondes d'effort physique, le dicrotisme de la pulsation s'aplatit et devient oblique (fig. 35). Nous pensons que cet amollissement de la pulsation provient d'une augmentation de la pression sanguine. C'est un point sur lequel nous reviendrons bientôt.

2° *Travail intellectuel intense, prolongé pendant plusieurs heures.* — Les seules observations qui aient été faites sont celles de Binet et Courtier. Nous les résumons :

angoisse

calme

Fig. 34. — Influence d'une anxiété morale sur la respiration et le pouls capillaire. Le sujet doit réprimander un élève qu'on attend au laboratoire, et il est vivement ému en entendant un coup de sonnette, croyant que c'est l'élève qui arrive. Le coup de sonnette a lieu à l'endroit marqué par une croix. Le mot calme est écrit au moment où le sujet déclare spontanément qu'il est redevenu calme et que son émotion est terminée.

Fig. 35. — Influence de l'effort musculaire d'une main sur le pouls capillaire de l'autre main. Pendant l'effort, le pouls se rapetisse ; après l'effort, il augmente d'amplitude et présente un dicrotisme amolli.

Il est assez difficile d'apprécier l'influence de ce travail intellectuel sur la circulation capillaire, parce que la circulation capillaire varie d'une heure à l'autre. Il faut donc commencer par étudier ces variations sur un sujet, et chercher si elles sont régulières ; puis on étudie chez ce même sujet si le travail intellectuel apporte quelques modifications dans la série.

Les effets du travail intense et prolongé ont été étudiés sur deux personnes, MM. C... et H... Chacun d'eux a passé une après-midi au laboratoire, depuis une heure de l'après-midi jusqu'à 8 heures, en consacrant tout son temps soit à une lecture très difficile, soit à la rédaction d'un travail original. Leur seul repos consistait à venir, d'heure en heure, aux appareils graphiques, où ils prenaient rapidement leur pouls capillaire. M. C... a répété deux fois cette épreuve. Pendant les jours précédents et les jours suivants, MM. C... et H... ont passé l'après-midi au laboratoire dans un désœuvrement complet, et ont pris également leur pouls capillaire d'heure en heure ; pour rendre toutes les conditions comparables, ils ont, chaque fois, à midi, déjeuné de la même quantité d'aliments solides et liquides.

Le travail intellectuel, prolongé pendant plusieurs heures, produit chez MM. C... et H... une diminution d'amplitude du pouls, avec une atténuation du dicrotisme et un déplacement du dicrotisme vers le sommet de la pulsation ; l'effet est de même ordre chez tous deux, mais plus accentué chez M. H... que chez M. C...

Chez M. H..., le pouls capillaire a été pris toutes les heures, depuis 2 heures et demie de l'après-midi jusqu'à 6 heures et demie ; à chaque épreuve, on l'a pris trois fois de suite, pendant deux minutes, en faisant les trois fois une application différente des appareils sur la main.

Voici les notes rédigées par le sujet lui-même, sur les deux jours d'épreuves qui eurent lieu le dimanche 10 mai et le mercredi 13 mai :

Dimanche, 10 mai 1896 :

Repas terminé à midi et demi. Une côtelette ; quatre œufs ; pain (pour 2 sous) ; 1/2 litre de lait ; un café ; une orange.

Travail intellectuel sérieux (Marey, *Méthode graphique*, p. 13 à 63).

Lorsqu'on traçait le pouls la deuxième fois (3 heures un quart), les mains étaient déjà anémiques, d'une couleur verdâtre, et n'avaient pas beaucoup de chaleur.

A 4 heures et demie à peu près, je commençais à avoir faim ; fatigue dans les bras.

Les yeux un peu fatigués à force de lire, mais la fatigue intellectuelle n'était pas bien marquée.

Pendant que le pouls se traçait sur le cylindre, je ne pouvais pas m'empêcher de penser aux conditions de l'expérience que nous faisions, à sa signification, sa valeur, etc.

Journée du 13 mai 1896 :

Le même repas que dimanche, 10 : une côtelette ; quatre œufs ; pour 2 sous de pain ; 1/2 litre de lait ; un café ; une orange.

Conditions physiques, intellectuelles et morales, à peu près les mêmes que la dernière fois.

Travail intellectuel continu étant défendu, nous cherchions à nous *distraire* le mieux possible (en causant, lisant des journaux humoristiques, en écoutant M. C..., qui jouait un peu du violon, etc., etc.).

J'ai remarqué qu'il y avait, jusqu'à la fin de l'expérience, dans mes mains beaucoup plusde *sang* qu'après le travail intellectuel, et qu'elles étaient par conséquent d'une couleur plus fraîche, plus rose et d'une température plus élevée.

Quant à la *fatigue physique*, qui était très marquée après le travail intellectuel, il n'y en avait pas aujourd'hui ; mais j'admets que cela tient, pour la plus grande partie, à la liberté de se mouvoir, qui était accordée aujourd'hui à tout le corps (les mains, les jambes, la tête, les yeux, la bouche, etc...) ; tandis que, pendant le travail continu, le corps et les membres étaient tout le temps dans à peu près la même position.

Vers la fin, une certaine *fatigue psychique* à cause de l'*ennui*.

La sensation de *faim*, qui apparaissait la dernière fois vers 4 heures et demie, se montrait aujourd'hui beaucoup plus tard et était presque imperceptible.

Voyons maintenant la forme du pouls (fig. 36) ; à 2 heures et demie (deux heures après le repas), le pouls est d'amplitude moyenne, dicrotisme à mi-chemin de la

descente et bien accentué ; c'est le même pouls pour les deux jours. A 3 heures et demie, changement notable,

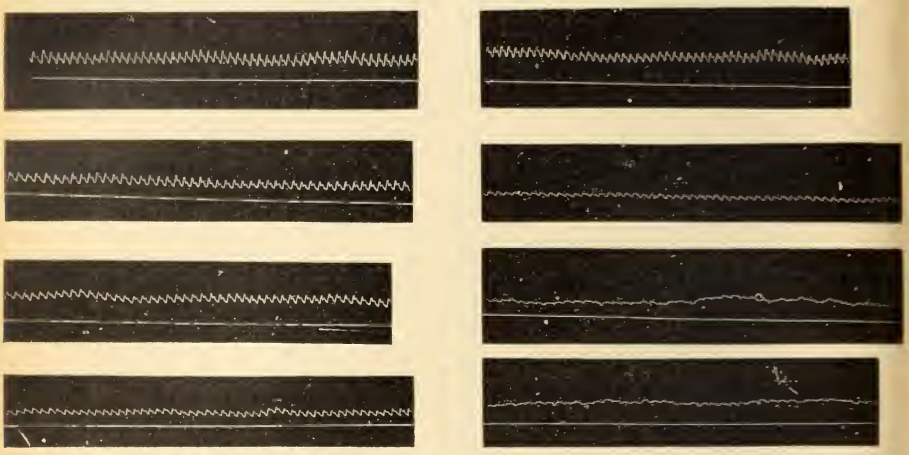

Fig. 36. — Expériences de travail intellectuel prolongé, sur M. H... Les tracés de gauche correspondent à une après-midi de repos ; ceux de droite, à une après-midi de travail intellectuel prolongé ; les tracés des deux journées ont été pris à quelques minutes près aux mêmes heures.

le pouls du travail intellectuel est devenu beaucoup plus petit, presque filiforme ; le dicrotisme est tout à fait en haut ; grande différence avec le pouls du repos ; à 4 heures et demie, pouls filiforme, dicrotisme à peine distinct ; à 6 heures et à 7 heures, le pouls ne s'indique pour ainsi dire plus ; la comparaison de ces deux derniers tracés avec ceux du repos pris aux mêmes heures montre l'influence d'un travail prolongé. En ce qui concerne la vitesse du cœur, le tableau suivant résume les résultats.

On voit que le travail intellectuel a accentué le ralentissement normal du pouls, comme il a accentué le rapetissement de la pulsation ; l'accentuation a surtout été forte dans la première moitié de l'après-midi. Il faut tenir compte aussi de l'immobilité du corps, qui a été plus grande pendant le travail intellectuel que dans l'après-midi d'oisiveté.

Expériences sur le travail intellectuel prolongé (M. H.).
Nombre de pulsations par minute.

TRAVAIL INTELLECTUEL		SANS TRAVAIL INTELLECTUEL	
2 h. 1/2	83 pulsations.	2 h. 25	83 pulsations.
3 h. 3/4	67 —	3 h. 25	75 —
5 h.	64 —	4 h. 30	71 —
6 h.	66 —	5 h. 1/2	74 —
7 h.	63 —	6 h. 1/2	71 —

Chez M. C..., on relève exactement les mêmes effets, avec cette seule différence que le pouls ne disparaît pas entièrement à la fin de la journée de travail intellectuel, comme chez M. H... ; le dicrotisme s'atténue et remonte beaucoup plus vite que dans une journée d'oisiveté. Quant au ralentissement du pouls, il suit l'ordre suivant :

Expériences sur le travail intellectuel prolongé (M. C.).
Nombre de pulsations par minute.

TRAVAIL INTELLECTUEL		SANS TRAVAIL INTELLECTUEL	
2 h. 1/4	106 pulsations.	2 h. 20	96 pulsations.
3 h. 1/2	90 —	3 h. 1/4	88 —
4 h. 50	77 —	4 h. 20	80 —
6 h.	72 —	5 h. 1/2	79 —
7 h.	71 —	6 h. 40	82 —

Ces chiffres sont tout à fait analogues à ceux que nous trouvons chez M. H...

Il est assez délicat d'interpréter ces différents résultats ; d'autant plus qu'une cause d'erreur s'est produite : l'immobilité du corps est venue s'ajouter à l'effet du travail intellectuel. Nous croyons cependant que c'est le travail intellectuel qui a eu une action prépondérante sur les tra-

cés. Il a produit un ralentissement du cœur et une atténuation de la circulation capillaire périphérique.

En résumé, si nous faisons la synthèse de tous les effets produits par le travail intellectuel sur le cœur, la respiration et la circulation capillaire, nous trouvons que :

1° Un effort intellectuel énergique et court produit une excitation des fonctions, vaso-constriction, accélération du cœur et de la respiration, suivies par un ralentissement très léger de ces fonctions ; chez certains sujets, émoussement du dicrotisme.

2° Un travail intellectuel d'une durée de plusieurs heures avec immobilité relative du corps produit le ralentissement du cœur et une diminution de la circulation capillaire périphérique.

Ce contraste entre les effets d'un travail intellectuel court et ceux d'un travail intellectuel prolongé, nous le retrouverons à propos de l'exercice musculaire.

Conclusion pratique. — Les observations sur la circulation capillaire sont encore trop peu nombreuses pour qu'on sache le parti que la pédagogie pourrait en tirer. Ce que l'on connaît le mieux, ce sont les effets d'un effort intellectuel momentané, et ces effets sont ceux qui présentent le moins d'intérêt pour l'hygiène de l'esprit. Il faudrait surtout avoir une connaissance approfondie des effets produits par un travail de plusieurs jours ou de plusieurs semaines. On peut prévoir qu'on rencontrera dans ces recherches des difficultés tenant surtout aux changements de température ; un tracé pris l'hiver n'est guère comparable à un tracé de printemps ou d'été.

CHAPITRE III

INFLUENCE DU TRAVAIL INTELLECTUEL
SUR LA PRESSION DU SANG[1]

Pour mesurer la pression du sang chez les animaux, on se sert d'un tube manométrique en U, rempli de mercure (fig. 37) ; la petite branche du manomètre, après s'être coudée à angle droit, se termine par un ajutage qu'on introduit dans l'artère où l'on veut mesurer la pression du sang. Dans la coudée à branche ouverte du manomètre, on place un flotteur qui inscrit les mouvements de la colonne liquide. Cette colonne liquide est refoulée par le sang à une certaine hauteur. La différence de niveau du mercure dans la grande et la petite branche du manomètre donne la mesure de la pression sanguine dans l'artère explorée.

Dans les grosses artères des mammifères la pression est de 140 à 160 millimètres de mercure.

La mesure de la pression du sang chez l'homme ne pouvant pas se faire au moyen d'une opération sanglante[2], on a pris un détour ; on mesure la pression par l'extérieur, en appliquant le manomètre ou des instruments analogues

[1] Une grande partie de ce chapitre est prise du travail de Binet et Vaschide publié dans l'*Année psychologique*, t. III, p. 127.

[2] On a pu mesurer avec le manomètre la pression sanguine d'un homme pendant une opération d'amputation : à l'artère humérale, la pression était de 110 à 120 millimètres de mercure. Chez un enfant, on a pu mesurer aussi la pression avant l'amputation de la cuisse; elle était de 100 à 160 millimètres de mercure dans l'artère tibiale antérieure. (*Physiologie* de Landois, p. 153.)

sur et non *dans* l'artère. Les différents procédés qui ont été imaginés consistent tous : 1° à employer une force qui supprime la pulsation du sang ou qui décolore les tissus, qui en un mot arrête la circulation du sang dans un organe facilement accessible, par exemple la main ou les doigts, et 2° à mesurer quelle est la pression minima nécessaire à cette suppression. Le dispositif employé a varié avec les auteurs, et aussi suivant qu'on veut mesurer la pression dans les artères ou dans les capillaires.

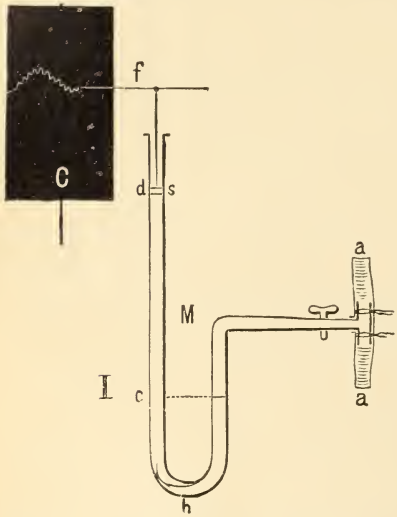

Fig. 37. — Inscription de la pression sanguine chez un animal. *a a* est une artère dans laquelle est introduite une canule ; cette canule communique avec un manomètre M, le sang refoule le mercure du manomètre jusqu'en *c*, le mercure monte jusqu'en *s*. La pression du sang est donc égale au poids d'une colonne de mercure égale à *s c*. (Landois.)

Un procédé qui paraît très simple pour mesurer la pression sanguine d'une artère consiste à charger de poids le ressort d'un sphygmographe quand il est en place sur l'artère ; on augmente progressivement la charge du ressort jusqu'à ce que la plume du sphygmographe cesse de se soulever ; le poids minimum nécessaire à cet effet mesure la pression du sang. Landois[1] rapporte que ce poids pour de jeunes étudiants en bonne santé est de 550 grammes en moyenne. On doit faire quelques réserves sur l'exactitude de ce procédé ; des conditions indépendantes de la pression, comme le calibre de l'artère, sa position superficielle ou profonde, l'état d'élasticité de

[1] *Traité de Physiologie humaine*, trad. franc., Paris, 1893, p. 153.

ses parois font varier la valeur de la contre-pression nécessaire pour supprimer le pouls artériel. Ajoutons que le sphygmographe est un appareil très délicat, et on n'est jamais sûr de l'appliquer d'une façon identique chez deux sujets différents. C'est ce que prouvent bien les graphiques qu'on obtient. Aussi, nous pensons qu'employer le sphygmographe, appareil déjà difficile à manier, pour la mesure de la pression, opération qui est très délicate, c'est entasser difficulté sur difficulté.

Un autre procédé auquel se rattachent les noms de Marey, v. Basch, Potain et Bloch, consiste à exercer une compression sur l'artère radiale jusqu'à ce qu'on cesse de sentir les battements de l'artère; on mesure alors cette compression, et on la considère comme égale à la pression sanguine, à laquelle elle fait équilibre. V. Basch a employé le dispositif suivant : il comprime l'artère avec une pelote remplie de liquide et en relation avec un manomètre à mercure. Tout en pressant avec cette pelote sur l'artère radiale, il interroge le pouls en aval, et il augmente graduellement, à la main, la compression, jusqu'à ce que le pouls cesse de se faire sentir; on lit alors la pression indiquée par le manomètre. V. Basch a trouvé que la pression radiale est, chez l'adulte, égale à 155-165 millimètres de mercure. L'appareil de Potain est une légère modification du précédent. Celui de Bloch est un peu plus simple, mais il est fondé sur le même principe ; au lieu de comprimer l'artère avec une pelote, on la comprime avec un ressort à boudin, et, de plus, le doigt explorateur est placé, non en aval, mais directement sous le ressort ; le doigt comprime donc l'artère et en même temps il en perçoit les battements. Il y a là probablement une cause d'erreur, car l'état de sensibilité dans la pulpe du doigt doit être modifié quand le doigt est comprimé. Outre cette objection de détail, on doit faire à ces divers appareils, à celui de Bach comme à celui de Bloch, un reproche plus grave : c'est qu'ils confient à l'appréciation subjective de l'expérimentateur des phénomènes

très délicats qui ne peuvent être mesurés que par des signes objectifs. L'état de fatigue de l'expérimentateur, sa distraction et d'autres causes qui lui sont personnelles, doivent, en modifiant sa propre sensibilité, changer les indications qu'il attribue à l'appareil. De plus, quand l'artère change de calibre, se rétrécit par exemple sous l'influence de la vaso-constriction, l'aire de la pulsation reçue par le doigt de l'expérimentateur diminue, et il en résulte un changement dans la sensation tactile qu'il reçoit : on ignore comment l'expérimentateur peut interpréter un changement de ce genre.

On a cherché à mesurer la pression dans les capillaires de l'homme en employant le procédé de la décoloration. On applique, par exemple, sur la peau, soit la peau du lobule de l'oreille, une lame de verre sur laquelle on exerce une compression croissante jusqu'à ce que les capillaires commencent à pâlir ; la pression produisant cet effet est considérée comme égale à la pression du sang dans les capillaires. C'est à J. v. Kries [1] qu'on doit les premières recherches dans ce sens. Bloch vient de les reprendre. On a trouvé que la pression dans les capillaires des doigts varie de 24 à 62 millimètres de mercure, suivant que la main est élevée ou pendante. La critique générale à faire à ce procédé est la même que nous avons formulée précédemment : la mesure de la pression repose sur une appréciation subjective. Lorsqu'on étudie des phénomènes aussi délicats que ceux de la pression et surtout ceux des changements de pression dans les artères et les capillaires, il faut recourir à un appareil qui exprime lui-même ces résultats, et qui les exprime soit par un chiffre, soit par un tracé.

C'est là l'avantage du sphygmomanomètre de Mosso [2], appareil nouveau, qui est comme le perfectionnement d'un ancien appareil de Marey. Il est formé de tubes métalliques dans lesquels on introduit les doigts, comme

[1] *Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig*. 1875, p. 69.
[2] *Arch. ital. de Biologie*, p. 177, 1895.

on le voit dans la figure 38. En versant de l'eau dans le flacon D, on remplit ces tubes d'eau; les doigts ne sont pas mouillés, car les ouvertures des tubes sont fermées par des doigts de gant qui rentrent à l'intérieur des tubes et coiffent les doigts introduits dans les tubes; on voit sur le bord externe des tubes en *a*, *b*, *c*, *d*, l'extrémité des doigts de gant; les tubes sont fixés sur une

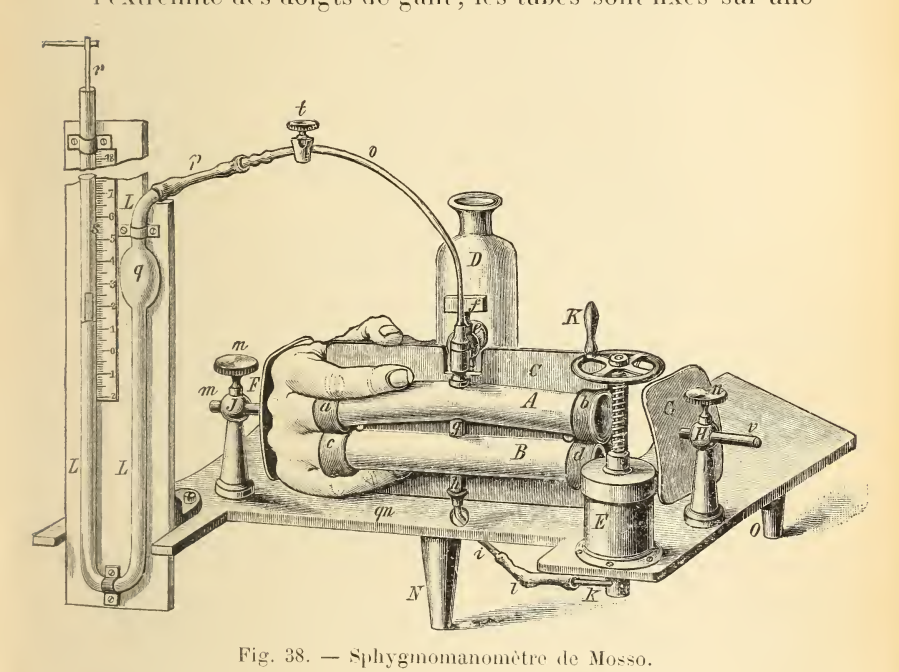

Fig. 38. — Sphygmomanomètre de Mosso.

plate-forme N O *q n* en fer fondu, et la main du sujet est dans l'attitude indiquée par la figure, le dos de la main fixé au moyen d'une plaque de métal F arquée et rembourrée, qui glisse sur une colonnette J et H, et est fixée par une vis M. Un piston métallique E, qu'on élève et qu'on abaisse au moyen d'une vis K, peut exercer une pression sur l'eau, qui se transmet par le tube *k l i* aux doigts. L'eau monte dans le tube *o p*, et agit sur le manomètre à mercure L L, dont le niveau indique exactement la pression

d'eau exercée sur les doigts; en effet, chaque fois qu'on abaisse le piston E, celui-ci repousse le liquide qui remplit l'appareil et élève le niveau de la colonne manométrique. Un flotteur *r*, qui surmonte cette colonne, est muni d'une plume pouvant écrire sur un cylindre tournant les oscillations de la colonne.

Si on commence par une pression égale à 0 et qu'on l'augmente progressivement, on détermine un changement régulier dans l'amplitude de la pulsation: elle est d'abord très petite, puis elle grandit, atteint un maximum, décroît de nouveau et finit par disparaître; l'amplitude n'est donc pas en raison directe ou en raison inverse de la pression; il y a un optimum de pression, égal en moyenne à 80 millimètres de mercure, pour lequel la pulsation atteint son maximum d'amplitude; une pression plus faible et une pression plus forte ont également pour effet d'amoindrir le pouls.

Marey prend comme mesure de la pression du sang la contre-pression extérieure suffisante pour supprimer la pulsation. Mosso soutient au contraire que c'est la contre-pression optima qui mesure la pression dans l'intérieur des artères. Peu nous importe ce point en litige, car en psychologie nous n'avons à rechercher que les changements dans la valeur de la pression, et ils peuvent être donnés par l'un ou l'autre de ces deux critériums.

La figure 39, empruntée à Mosso, indique quel est le genre de courbe que donne l'appareil. Dans cette courbe, le maximum d'amplitude du pouls correspond à une contre-pression de 80 mm.

Dans un travail récent fait par l'un de nous (Binet) en collaboration avec Vaschide, nous avons jugé, pour une foule de raisons, qu'on ne devait pas prendre une courbe en tournant soi-même avec la main la manivelle du piston: à la main, le mouvement est très irrégulier, il n'a pas constamment la même vitesse, et il peut en résulter que le sujet éprouve dans les doigts une compression brusque qui

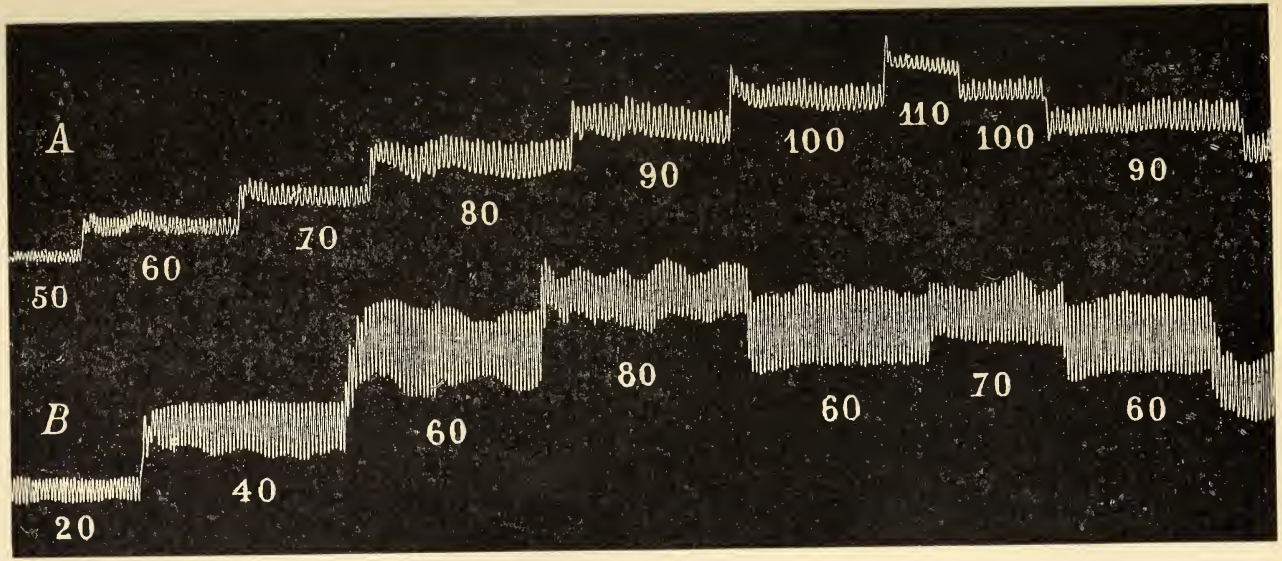

Fig. 39. — Tracés de la pression avec le sphygmomanomètre (Mosso).

A, conditions normales; la hauteur maximum des pulsations se trouve entre 80 et 90 mm. B, après un bain chaud; les pulsations atteignent leur maximum de hauteur à 60 millimètres,

attire et trouble son attention et qui a un autre inconvénient, celui de provoquer une vaso-constriction réflexe dans les doigts. Pour prouver la réalité de cette cause d'erreur, nous avons fait l'expérience suivante : le sujet a mis une seule main dans l'appareil; l'autre main était adaptée à un pléthysmographe à air. Brusquement, nous tournons le piston du sphygmomanomètre, et aussitôt le tracé du pléthysmographe a une descente brusque qui est l'in-

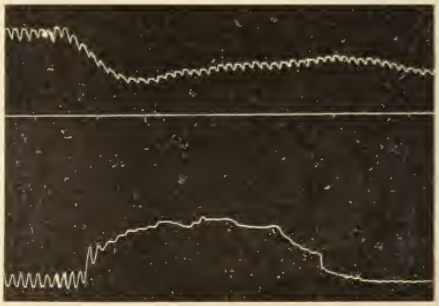

Fig. 40. — Influence d'un changement brusque de pression sur le pouls. Le tracé supérieur est celui du pouls capillaire ; le tracé inférieur est celui du sphygmomanomètre. On voit que la pression ayant été augmentée brusquement, il en est résulté une vaso-constriction.

dice d'une vaso-constriction. La figure 40 reproduit cette expérience.

Un autre inconvénient encore, et le plus grave de tous, que produit le mouvement du piston avec la main, est qu'on n'augmente pas dans toutes les expériences la pression avec la même vitesse ; le mouvement ne se fait pas avec la régularité d'un mécanisme. Or, comme on a toujours, dans ces sortes de recherches, à comparer deux expériences pour savoir dans laquelle la pression du sang a été le plus forte, cette comparaison est compromise si on n'est pas certain d'avoir changé les deux fois la pression de la même manière. Voici une expérience qui démontre qu'en faisant varier le mode de contre-pression extérieure, on obtient des effets bien différents.

Fig. 41. — Expérience montrant les effets différents d'une pression graduelle et d'une pression constante de même valeur sur le pouls capillaire. Les chiffres indiqués au-dessous du tracé expriment la hauteur du mercure dans une des branches du manomètre ; il faut les doubler pour avoir la pression réelle. Dans cette expérience, on emploie d'abord une pression graduelle ; quand la contre-pression est un peu supérieure à 10 centimètres, le pouls disparaît ; il n'en reste plus de trace à 12 centimètres. On augmente la pression jusqu'à 14 centimètres, puis à l'endroit marqué d'une croix, on arrête le moteur, et la pression devient constante. Presque aussitôt le pouls reparaît ; il est très apparent à 13,5 centimètres.

Fig. 42. — Tracé sphygmomanométrique de l'état de repos. Sujet assis. Pression graduelle croissante de 0 jusqu'à 140 millimètres. Sujet M. V...

Nous prenons lentement une courbe de pression graduelle chez M. V..., à 8 heures et demie du soir; quand la

colonne manométrique arrive à 120 millimètres, le pouls disparaît; on continue l'augmentation de pression jusqu'à 140; puis on arrête le moteur qui fait tourner le volant du piston; la pression devient fixe: au moment même où on arrête le moteur, il n'y a plus de pulsation sur le tracé, et par conséquent on pourrait, constatant que la contre-pression de 120 supprime le pouls, en conclure que la pression du sang est de 120; mais on attend un moment, en laissant subsister la contre-pression de 140; bientôt se fait un retour de la pulsation, qui grandit rapidement; pendant cette apparition de la pulsation, la colonne de mercure descend un peu, arrive à 135; voilà donc une contre-pression de 135 qui laisse subsister la pulsation, tandis que celle de 120 la supprimait. Que conclure de là? La pression du sang est-elle égale à 120, ou à 135? Nous l'ignorons.

Ces résultats montrent qu'il est impossible de mesurer d'une manière absolue la pression du sang avec le sphygmomanomètre. On ne peut la mesurer que d'une manière relative, et par conséquent il faut avoir une contre-pression qui soit bien réglée, automatique, pour uniformiser toutes les conditions d'expérience. Nous avons adopté un moteur à poids, ayant une force de 4 kilogrammes. Ce moteur est appliqué à la manivelle du piston; le mouvement est bien uniforme, et l'expérience totale dure environ trois minutes.

Nous n'avons pas employé le flotteur inscrivant de Mosso pour les tracés que nous mettons sous les yeux du lecteur; nous avons employé la transmission à air et les tambours inscripteurs ordinaires. Pour avoir un tracé rectiligne, et non un tracé ascendant, nous avons ménagé une fuite dans un tube de transmission, selon une méthode que nous avons décrite ailleurs[1].

Voici une courbe d'état normal prise sur M. V..., pendant qu'il était assis (fig. 42). La courbe a été prise avec une contre-pression croissante; l'expérience a duré environ

[1] *Année psychologique*, II, p. 782.

deux minutes. Au-dessous du tracé du pouls, nous indiquons par un chiffre la contre-pression subie à ce moment-là ; elle est indiquée en millimètres de mercure. On voit que le pouls cesse de se marquer entre 100 et 120 millimètres, soit à 110 : par conséquent ce nombre de 110 correspond, d'après Marey, à la pression du sang.

Pour étudier l'effet du travail intellectuel court — le seul expérimenté jusqu'ici — sur la pression du sang, nous avons procédé de la manière suivante. Nous avons pris le pouls sous des pressions croissant depuis 0 jusqu'à 140 millimètres de mercure ; on fait d'abord cette exploration pendant que le sujet est à l'état de repos, sans excitation ni préoccupation d'aucune sorte ; ensuite on recommence la même expérience pendant que le sujet s'absorbe dans un calcul mental difficile ; on a de cette manière deux courbes à comparer, prises à quelques minutes d'intervalle ; la différence qu'elles présentent peut être mise au compte du travail intellectuel, à moins qu'une circonstance fortuite, une émotion, un frisson, un changement d'attitude, etc., n'empêche les deux expériences d'être comparables.

Le calcul mental devait durer pendant deux à trois minutes environ ; nous n'avons pas donné au sujet un calcul mental unique, parce que ce calcul aurait dû être très compliqué et très difficile pour durer aussi longtemps ; par conséquent un sujet qui n'a pas de dispositions exceptionnelles pour ce genre d'exercices, se serait embrouillé, aurait perdu les chiffres, et en fin de compte nous n'aurions pas eu la forte et régulière concentration d'esprit que nous désirions étudier. Il nous a paru meilleur de donner au sujet une série de multiplications faciles ; dès qu'il en avait terminé une, il disait la solution, et aussitôt on lui en donnait une seconde, puis une troisième. En général, pendant les deux à trois minutes que durait l'expérience, le sujet faisait trois multiplications, chacune de deux chiffres par deux chiffres. Très intéressé par la

recherche, il a toujours fait un effort vigoureux, prouvé par l'exactitude des solutions indiquées. Il fermait les yeux, fronçait les sourcils et penchait un peu la tête en avant ; parfois, il a penché le corps en avant ; mais, comme cette attitude augmente la pression du sang dans la main, nous n'avons pas tenu compte des courbes où cette cause d'erreur s'était produite.

Pendant le calcul mental, le tracé change un peu de longueur ; il résiste à une contre-pression plus forte que le tracé pris à l'état de repos. Ce sont des expériences que nous avons faites sur douze sujets jusqu'ici, et en aucun cas nous n'avons rencontré d'exception. La hausse moyenne de pression, pour un calcul mental difficile, a été de 20 millimètres de mercure (fig. 43).

Le nombre maximum qui ait été atteint est de 30 millimètres, il est tout à fait exceptionnel ; on l'a constaté un jour que M. V... a fait de tête des multiplications considérables pendant huit minutes, avec une très grande application d'esprit. L'augmentation de pression de 30 millimètres n'a lieu qu'au prix d'une concentration d'esprit considérable ; un travail psychique de peu d'intensité ne modifie pas sensiblement la pression ; aussi nous avons constaté chez M. V... que, pendant une expérience de temps de réaction simple et de choix, sa pression reste normale.

Nous donnons ci-après un tableau contenant les résultats d'une dizaine d'expériences sur le travail intellectuel. Les chiffres de pression de l'état de repos ont été pris immédiatement avant de faire faire le calcul mental :

Influence du travail intellectuel sur la pression du sang. — M. V...
(La pression est indiquée en millimètres de mercure.)

	ÉTAT DE REPOS	CALCUL MENTAL
Expérience 1	135	»
	135	150
— 2	110	125
— 3	115	135
	»	140
	125	»
— 4	130	140
	»	170
	»	140
— 5	110	120
— 6	115	120
— 7	125	140
Valeur médiane	120	140

Prenons un exemple, pour mieux nous expliquer : dans l'expérience 4, on a pris d'abord deux fois de suite la pression de l'état de repos, soit 125, puis 130 ; ensuite on a pris trois fois de suite la pression du travail intellectuel, soit 140, 170 et 140.

Pour comprendre la signification de ce résultat, il faut le comparer à celui que donne le travail physique.

Nous avons étudié sous deux formes l'effet du travail physique sur la pression sanguine : 1° le sujet accomplissait un travail quelconque, montait un escalier, ou soulevait des haltères, et ensuite, dès que ce travail était terminé, il mettait les doigts dans l'appareil et on prenait la pression de son sang ; avec cette manière de procéder, on ne peut saisir que l'effet produit après la cessation du travail physique ; 2° le sujet, les mains dans l'appareil, exécutait un travail physique avec une autre partie de son corps, sans remuer les mains, et on mesurait la pression pendant le travail ; ainsi, le sujet assis soulevait une jambe ; cet effort devient très pénible au bout d'une minute

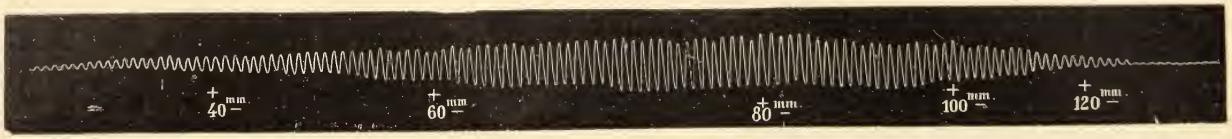

Fig. 43. — Tracé sphygmomanométrique pris immédiatement après celui de la figure 42. Le sujet faisait un calcul mental compliqué : multiplication de trois chiffres par deux chiffres. Sujet assis. Pression graduellement croissante de 0 à 140 millimètres. On remarque que le pouls disparaît environ à 125 millimètres, tandis qu'à l'état de repos, il disparaît déjà à 110 millimètres ; il y a donc une augmentation nette de la pression sanguine sous l'influence du travail intellectuel.

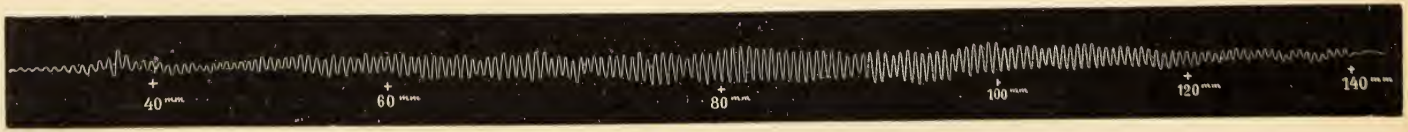

Fig. 44. — Tracé sphygmomanométrique pris immédiatement après celui de la figure 43. Le sujet fait un effort musculaire consistant à tenir la jambe soulevée pendant quatre minutes. Sujet assis. Pression graduellement croissante depuis 0 jusqu'à 180 millimètres. On remarque que, dans ce cas, le pouls ne disparaît qu'après une pression de 140 millimètres, tandis qu'à l'état de repos il disparaît environ à 110 millimètres, et pendant le calcul mental il disparaît à 125 millimètres environ.

et produit des mouvements ; un autre travail consiste dans la flexion de la jambe sur la cuisse pendant trois à quatre minutes ; un autre consiste à contracter violemment les muscles du cou ; nous avons eu recours à toutes ces expériences.

Le résultat commun à toutes les épreuves a été une augmentation notable de la pression sanguine, égale en moyenne à 30 millimètres de mercure ; c'est une augmentation plus considérable que celle du travail intellectuel. Ainsi, chez M. V..., une flexion forte de la jambe pendant quatre minutes augmente plus la pression sanguine que ne le fait un calcul mental prolongé pendant le même temps. C'est ce résultat que nous avons obtenu en six expériences, toutes concordantes. Le pouls devient plus petit que pendant l'état de repos. Les tracés pléthysmographiques montrent que, pendant ce genre d'expériences, le pouls devient plus petit avec une atténuation du dicrotisme. Nous avons répété un très grand nombre de fois cette expérience sur M. V... et sur d'autres sujets ; nous nous sommes préoccupés de toutes les causes d'erreur qui peuvent se produire, notamment les mouvements et les changements de position du corps ; toujours nous avons vu qu'un effort violent et fatigant, localisé dans les jambes, provoque une élévation de pression. L'effort durait environ quatre minutes, temps nécessaire pour prendre une pression graduellement croissante. Il y avait à la suite de cet effort une assez grande fatigue.

C'est dans ces conditions qu'a été pris le tracé aussitôt après celui du calcul mental (fig. 44). On voit que le travail physique produit une hausse de pression bien supérieure à celle du travail intellectuel.

Il existe une autre méthode pour mesurer la pression de sang avec le sphygmomanomètre. Cette méthode consiste à prendre une contre-pression quelconque et à la rendre constante pendant toute la durée de l'expérience. Voici

quels sont les avantages de cette méthode : 1° on saisit la première modification produite par l'expérience, sans être obligé d'attendre plusieurs minutes, comme pour la pression graduellement croissante ; 2° on ne détourne pas l'attention du sujet par des changements de pression dans ses doigts ; 3° on ne provoque pas des phénomènes réflexes vaso-moteurs en changeant la pression. Seulement, ce procédé ne peut absolument pas nous faire connaître si la pression a changé et dans quel sens elle a changé. En effet, il nous montre seulement — quand il nous montre quelque chose — que le pouls a changé d'amplitude, qu'il a augmenté ou diminué. Or, il est très difficile d'attacher une signification précise à un changement d'amplitude du pouls ; cette signification varie avec tant de circonstances que nous ne pouvons pas l'indiquer dans une formule simple. Nous pensons qu'il sera utile d'exposer avec détails les expériences nombreuses que nous avons faites sur la pression constante, pour fixer l'interprétation des phénomènes. Nous aurons aussi, chemin faisant, à adresser quelques critiques à différents auteurs. Nous devons d'autant plus insister que la question n'a pas été traitée clairement par Mosso.

Voici le récit de quelques-unes de nos expériences. On sait que, lorsqu'une personne assise se met debout, son pouls capillaire, recueilli avec le pléthysmographe, diminue d'amplitude ; en outre, la pression du sang est augmentée par la station verticale. C'est ce que montrent les deux tracés suivants pris avec une pression graduelle sur une même personne, d'abord assise, puis debout.

Ces tracés sont choisis parmi une série de six, qui ont donné les résultats suivants : assis, 106 ; debout, 140 ; — assis, 130 ; debout, 170 ; — assis, 120. Chaque épreuve a duré quatre minutes.

Ces faits étant bien établis, nous recommençons l'expérience, seulement avec une pression constante. Voici comment nous procédons. Nous prenons le pouls avec

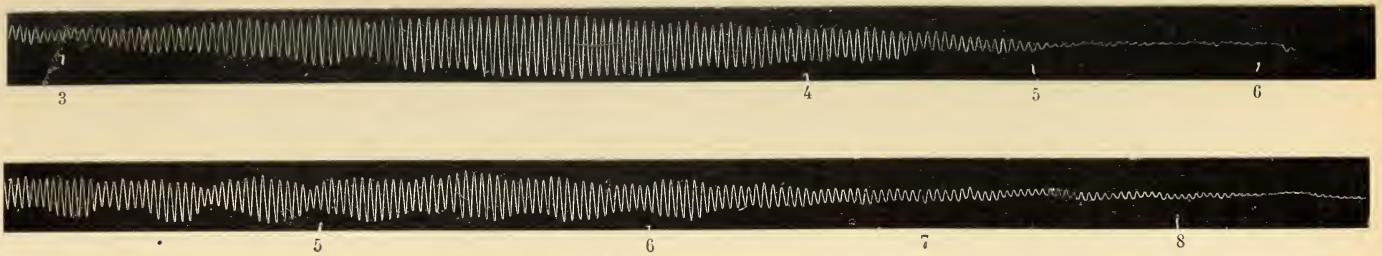

Fig. 45 et 46. — Tracé sphygmomanométrique ; sujet Mme Bil... Le tracé supérieur correspond à la position assise du sujet et le tracé inférieur à la pression debout. Les chiffres inscrits au-dessous des tracés indiquent la hauteur de la colonne de mercure dans une des branches du manomètre. On voit que, dans la position assise, le pouls disparaît entre 100 et 120 millimètres, tandis que dans la station debout il ne disparaît qu'après 160 millimètres, ce qui indique une très forte augmentation de la pression.

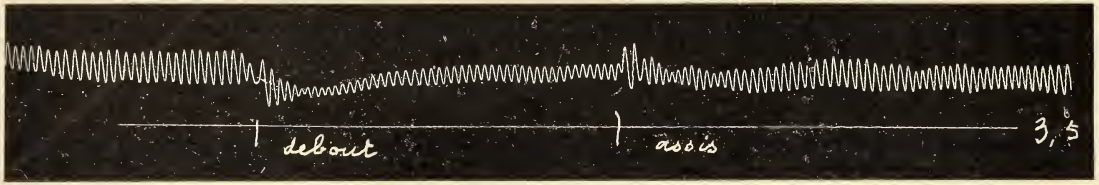

Fig. 47. — Tracé sphygmomanométrique pris sur le sujet M. V... assis, puis debout, puis assis. La contre-pression est restée constante et égale à 70 millimètres. On voit que l'amplitude des pulsations diminue lorsque le sujet se met debout.

le sphygmomanomètre pendant que la personne est assise ; puis nous la prions de se lever, sans sortir les mains de l'appareil ; elle reste debout trente secondes ; puis elle se rassied ; on a donc un tracé qui se subdivise en trois parties correspondantes : station assise, puis station debout, puis station assise. Nous prenons d'abord ce tracé avec une contre-pression de 70 millimètres (fig. 47), qui donne une pulsation très grande ; quand la personne se lève et reste debout, le pouls capillaire se rapetisse avec cette contre-pression, exactement comme il le fait si on prend un tracé pléthysmographique ; ce tracé sphygmomanométrique est donc, avec cette contre-pression, influencé par l'amplitude de la pulsation ; l'appareil ne donne pas davantage qu'un pléthysmographe, *il fonctionne comme un pléthysmographe*. Maintenant, nous recommençons l'expérience avec une contre-pression beaucoup plus forte, de 120 millimètres, qui efface presque complètement le pouls quand le sujet est assis ; le sujet se lève, et aussitôt le pouls augmente énormément d'amplitude ; cette augmentation d'amplitude est bien sous l'influence de la station verticale, car elle cesse quand le sujet se rassied (fig. 48). Voilà donc deux expériences qui sembleraient contradictoires, si on ne tenait pas compte de ce fait que la contre-pression a été bien différente dans les deux cas. Pour s'expliquer clairement cette différence, il faut se rappeler que la méthode des pressions croissantes montre qu'à 120 millimètres de contre-pression le pouls de la station verticale est conservé, tandis que celui de la station assise est détruit, et que, par suite, la station verticale augmente la pression (fig. 45 et 46).

Nous pouvons donc conclure de cette première expérience qu'avec une contre-pression faible le sphygmomanomètre fonctionne comme un pléthysmographe, tandis qu'avec une contre-pression très forte il fonctionne comme un manomètre. Si les indications prises avec une contre-pression faible et une contre-pression forte ont été, dans ce cas particulier, opposées l'une à l'autre, cela tient évidem-

Fig. 48. — Même expérience que dans la figure précédente, avec cette différence que la contre-pression est de 120 millimètres. On voit que l'effet est contraire, c'est-à-dire que l'amplitude des pulsations augmente lorsque le sujet se met debout.

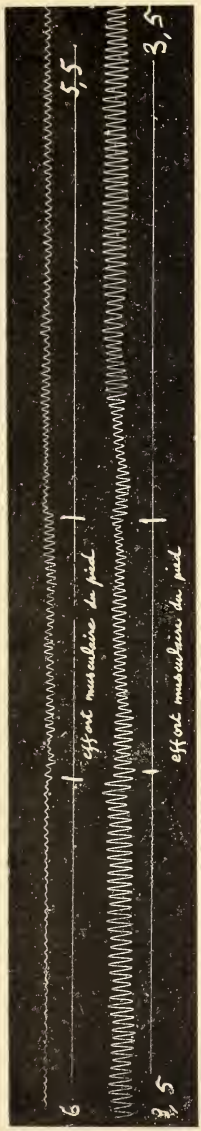

Fig. 49. — Tracé sphygmomanométrique pendant un effort musculaire (pression énergique du pied contre le sol). Le tracé inférieur correspond à une contre-pression constante de 70 millimètres, et le tracé supérieur à une contre-pression constante de 120 millimètres. On voit que dans le tracé inférieur l'amplitude du pouls diminue pendant l'effort et dans le tracé supérieur elle augmente. L'effet est donc inverse dans ces deux cas.

ment à ce que la station verticale a agi différemment sur la pression du sang et sur l'amplitude du pouls ; elle a pro-

duit une diminution d'amplitude du pouls et une augmentation de pression.

Prenons un second exemple, qui est analogue au précédent. L'expérience va consister à faire un effort très violent avec la jambe pendant que l'on a les mains dans le sphygmomanomètre. Les expériences faites avec le pléthysmographe montrent que cet effort musculaire diminue l'amplitude du pouls ; en outre, la courbe de pression graduelle avec le sphygmomanomètre montre — et nous avons déjà exposé la question avec tous ses détails — que la pression du sang augmente pendant l'effort musculaire. Que donne le sphygmomanomètre avec une pression constante ? Deux résultats absolument opposés, suivant qu'on emploie une contre-pression faible ou une contre-pression forte (fig. 49). Avec la contre-pression faible, l'effort diminue l'amplitude de l'oscillation ; c'est, comme nous l'avons dit, que dans ce cas l'appareil fonctionne comme un pléthysmographe. Avec une contre-pression forte, l'effort produit une augmentation d'amplitude ; c'est que l'appareil fonctionne dans ce cas comme un manomètre. Les indications données par la contre-pression faible et la contre-pression forte sont différentes, pour l'effort musculaire comme pour la station verticale, parce que l'effort musculaire agit en sens opposé sur l'amplitude du pouls et sur le pression ; il diminue l'amplitude du pouls et il augmente la pression[1].

Nous avons à relater une troisième expérience, et, quoiqu'elle soit du même genre que la précédente, nous l'exposerons avec un plus grand nombre de détails ; il s'agit de l'effet du travail intellectuel, ou du calcul mental. Nos expériences ont été faites sur plusieurs personnes et notamment sur M. V... ; ce sujet, pendant qu'il exécute un calcul mental difficile, a parfois, mais non constamment, une pulsation capillaire rapetissée ; c'est ce qu'on constate chez lui soit en prenant son tracé capillaire avec un pléthysmo-

[1] Cette affirmation ne s'applique, bien entendu, qu'aux personnes qui nous ont servi de sujets.

graphe pendant un calcul mental, soit en prenant dans les mêmes conditions un tracé de pression graduelle avec le

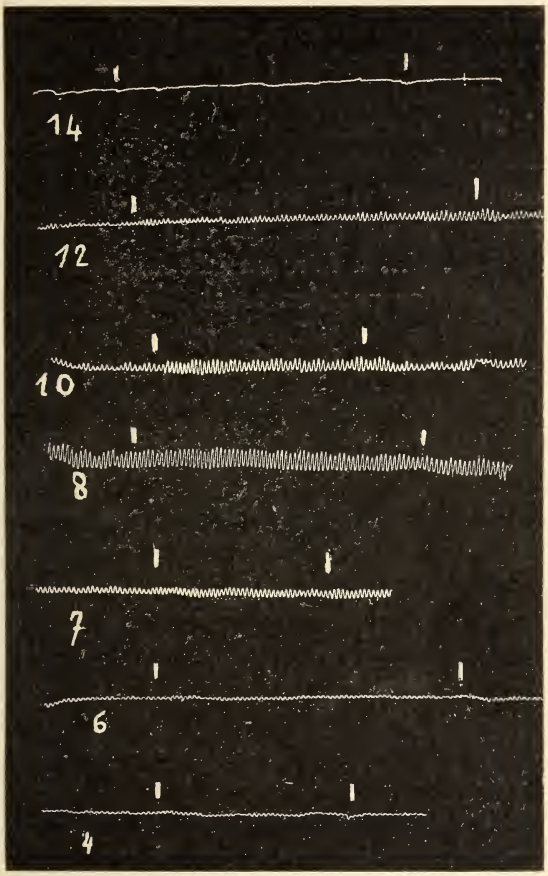

Fig. 50. — Série de tracés sphygmomanométriques pris pendant des multiplications mentales, avec des contre-pressions constantes de valeur différente. La pression est indiquée en centimètres par un chiffre placé à gauche, en dessous de chaque tracé. La multiplication est faite entre les deux traits verticaux.

sphygmomanomètre ; le pouls capillaire, sur ces deux genres de tracé, présente parfois une amplitude moindre que pendant l'état de repos ; parfois aussi il n'y a pas de

changement. Nous savons en outre, par nos recherches indiquées plus haut, que le travail intellectuel augmente temporairement la pression du sang chez ce sujet. L'effet du travail intellectuel est donc, à ce point de vue, analogue à celui du travail musculaire ; il réduit la taille de la pulsation et augmente la pression. Cette analogie nous permet de prévoir ce qui se produira si on enregistre le pouls capillaire du travail intellectuel avec une contre-pression faible ou une contre-pression forte, chez M. V... Pour bien nous rendre compte de ces résultats, sept fois de suite nous avons invité M. V... à faire un calcul mental, les doigts étant soumis à une pression constante, et chaque fois la pression choisie a été différente ; le pouls capillaire, ce jour-là, avait peu d'amplitude, mais il n'importe. Examinons les tracés (fig. 50).

Avec une pression constante de 40 millimètres, il ne se produit, par le fait du travail intellectuel, aucune modification ; avec une pression de 60, même résultat négatif ; avec une pression de 70 millimètres il y a une légère augmentation de la pulsation ; à 80 millimètres, il y a aussi une légère augmentation, non mesurable, mais visible à l'œil ; à 100 et à 120, l'augmentation est tout à fait nette, elle est du simple au double ; à 140, toute pulsation est supprimée.

Nous pouvons interpréter ces résultats de la manière suivante : chez ce sujet, le calcul mental, pendant cette expérience particulière, n'a amené aucun changement d'amplitude du pouls ; aussi, quand on a fait fonctionner le sphygmomanomètre avec une contre-pression faible — condition où il fonctionne comme un pléthysmographe — le calcul mental n'a produit aucun effet visible sur le tracé ; mais, avec des contre-pressions très fortes, l'instrument est devenu un manomètre, et il a indiqué qu'il se produisait un changement de pression. En somme, les tracés pris avec une contre-pression de 120 confirment complètement ceux qui ont été pris avec une pression graduellement

croissante ; on se rappelle en effet que cette dernière méthode montre que le pouls capillaire, pendant le calcul mental, résiste à une pression de 120.

A plusieurs semaines d'intervalle, nous avons répété cette même expérience en profitant d'un jour où M. V... avait un pouls d'une amplitude très grande. Deux opérations de calcul mental ont été faites, l'une avec une contre-pression faible, l'autre avec une contre-pression forte ; les résultats ont été analogues aux précédents, et encore plus démonstratifs. Nous nous bornons à les reproduire ici, sans parler d'autres épreuves du même genre qui ont été répétées à différentes reprises, une dizaine de fois, et ont toujours donné les mêmes tracés.

Explication de la figure 51. — Expérience sur M. V... On emploie une pression constante de 110 millimètres de

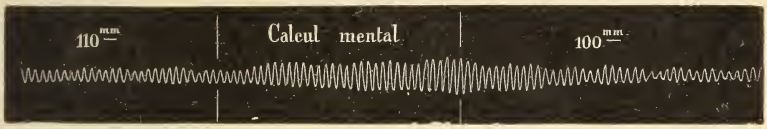

Fig. 51. — Tracé sphygmomanométrique pris avec une pression constante de 110 millimètres. Entre les deux traits verticaux, le sujet a fait un calcul mental ; on remarque que l'amplitude des pulsations a augmenté.

mercure, et on inscrit le pouls pendant une demi-minute. Ensuite on donne au sujet la multiplication de 68 par 9, opération qu'il exécute pendant que le tracé s'écrit entre les deux lignes verticales ; il y a d'abord une très petite diminution de la pulsation ; puis elle grandit notablement, et cette augmentation d'amplitude se prolonge un peu quand la multiplication est terminée. Puis la pulsation se rapetisse. La contre-pression de l'appareil, comme cela arrive souvent, a un peu diminué à ce moment-là, elle est maintenant à 100 ; cette diminution de pression aurait plutôt pour effet de grandir la pulsation que de la diminuer ; elle ne constitue donc pas une cause d'erreur.

Explication de la figure 52. — Pour ce tracé on a employé la pression optima de 70 millimètres ; le pouls a une plus

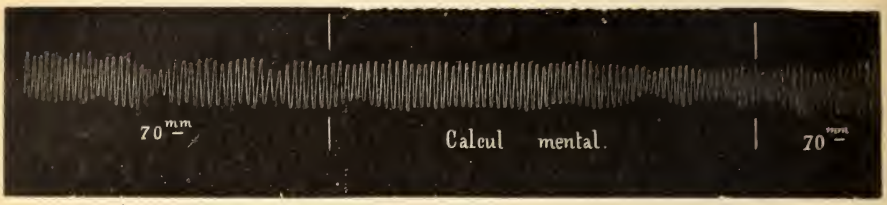

Fig. 52. — Tracé sphygmomanométrique pris avec une pression constante de 70 millimètres. Le travail intellectuel n'a produit ici aucun effet appréciable.

grande amplitude que dans le tracé de la figure 51, pris quelques minutes auparavant. Le travail intellectuel, qui a eu lieu entre les deux barres verticales et a consisté à

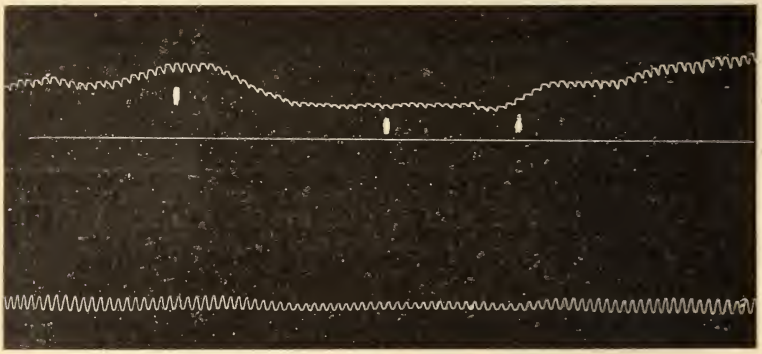

Fig. 53. — Tracé pris pendant un calcul mental. Le tracé supérieur est le pouls capillaire de la main gauche. Le tracé inférieur est pris avec le sphygmomanomètre sur la main droite du sujet. La pression est constante et égale à 70 millimètres. L'amplitude du pouls dans le tracé inférieur diminue pendant le calcul mental. Dans le tracé supérieur, on remarque une vaso-constriction réflexe et une diminution de l'amplitude du pouls.

multiplier 37 par 22, n'a produit aucun changement appréciable dans l'amplitude du pouls.

Ajoutons que nous avons fait sur une autre personne, Mme Bil..., une expérience encore plus démonstrative, en

prenant à la fois le tracé de la main droite avec le sphygmomanomètre et le tracé de la main gauche avec un pléthysmographe (fig. 53 et 54). On récitait 7 à 8 chiffres, lentement, devant cette personne, et elle devait les répéter aussitôt après. Deux épreuves différentes ont été faites : dans l'une, la pression du sphygmomanomètre a été maintenue constamment à 70 millimètres, ce qui constitue la contre-pression optima pour ce sujet ; dans l'autre, la contre-pression constante a été de 130 millimètres, contre-

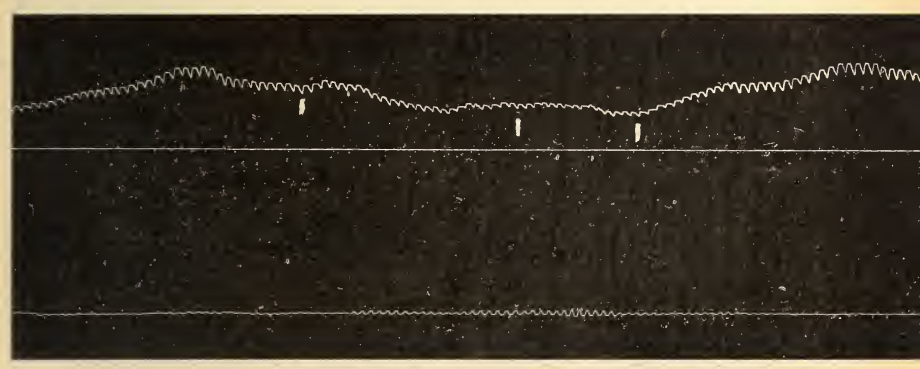

Fig. 54. — Même expérience que celle de la figure précédente, avec cette différence que la pression constante est de 130 millimètres. On voit dans le tracé sphygmomanométrique une augmentation de l'amplitude du pouls pendant le calcul mental. L'effet sur le pouls capillaire de la main gauche est le même que dans la figure précédente.

pression qui efface complètement le pouls chez Mme B... Or, que voyons-nous ? Dans les deux cas, l'effort mental a produit une vaso-constriction, bien visible sur le tracé pléthysmographique, où il y a une descente du tracé et un rapetissement de la pulsation ; l'effet de cette vaso-constriction sur la courbe de pression a été de sens opposé dans les deux expériences ; dans l'une, la première, où la contre-pression était optima, il y a eu un rapetissement des pulsations ; dans l'autre, la seconde, où la contre-pression écrasait le pouls, il y a une nette apparition des pulsations, pendant le calcul mental. On voit que ce sujet diffère du

précédent seulement par ce fait que le calcul mental produit chez lui un rapetissement du pouls (vaso-constriction) ; il en est résulté qu'avec une contre-pression faible, — le sphygmomanomètre fonctionnant comme un pléthysmographe, — le seul effet du calcul mental a été ce rapetissement du pouls.

Ici doit trouver place une critique du travail de M. Kiesow, cité plus haut. Cet auteur est le seul qui ait étudié méthodiquement la pression du sang pendant le travail intellectuel, et nous regrettons beaucoup d'avoir à mettre en doute les résultats de son travail, et surtout de critiquer sa technique. Kiesow ne s'est pas demandé quelle est la contre-pression qu'il faut choisir pour enregistrer le tracé capillaire pendant le travail intellectuel : il ne discute pas la question, qui cependant, comme nous l'avons dit, est de la plus grande importance ; il a constamment choisi comme pression constante la contre-pression optima, celle qui donne au pouls son maximum d'amplitude.

Nous ne trouvons dans son travail aucune justification de son choix. Ce choix, il faut bien l'avouer, n'a pas été heureux, comme le montrent les nombreux tracés (1 à 6) insérés dans son travail. Dans ces tracés, on ne voit pas si le calcul mental a eu quelque influence sur la pression du sang, car l'amplitude du pouls ne présente aucun changement. Il est possible que, chez les individus qu'il a étudiés, le travail intellectuel ne produisît aucun effet sur la pression, parce que ce travail intellectuel n'était pas suffisamment considérable : mais nous devons ajouter que, quand même la pression aurait été augmentée par le travail, cette augmentation n'aurait pas pu se voir sur les tracés de Kiesow, puisque cet auteur se servait du sphygmomanomètre comme d'un pléthysmographe, et non comme d'un manomètre. Ce qui nous paraît le plus vraisemblable, c'est que, chez les sujets du savant allemand, le calcul mental n'a produit aucun changement d'amplitude du pouls ; aussi les tracés ont-ils été négatifs, comme l'ont été ceux que nous

avons pris sur M. V..., dans les mêmes conditions de contre-pression faible ; mais, si Kiesow avait employé une contre-pression très forte, les résultats eussent été bien différents. Ce qui prouve bien l'exactitude de notre interprétation, c'est que nous pouvons à volonté, avec le même sujet, avoir les résultats négatifs de Kiesow, ou, au contraire, des résultats positifs comme ceux publiés dans notre présent travail.

Conclusion. — Notre principale conclusion est que le sphygmomanomètre de Mosso, avec les quelques perfectionnements de technique que nous avons indiqués, est un appareil digne de devenir classique dans nos laboratoires ; nous prévoyons que, dans peu de temps, il sera employé aussi fréquemment dans les expériences de psycho-physiologie que l'ergographe du même auteur. C'est un grand honneur pour le physiologiste italien d'avoir doté la science de ces deux appareils, qui sont tous deux d'un maniement pratique et donnent des résultats simples. Aucun de ces deux appareils n'est fondé sur une découverte importante; l'ergographe est un perfectionnement d'autres appareils antérieurement connus, et le sphygmomanomètre est aussi un perfectionnement des appareils imaginés par Marey pour la mesure de la pression sanguine chez l'homme. Le mérite de Mosso est d'avoir réalisé quelque chose de pratique, de commode et de précis.

Cet instrument ne peut servir, selon nous, comme le manomètre enfoncé dans l'artère, à donner la *mesure absolue* de la pression du sang. Outre que le principe sur lequel est fondé l'instrument n'a pas encore été démontré expérimentalement [1], il y a plusieurs raisons sérieuses, que nous avons indiquées plus haut, qui empêchent de connaître la valeur exacte de la pression sanguine. Mais, en revanche, le sphygmomanomètre nous paraît donner la

[1] En effet, il n'est pas prouvé que la pression nécessaire pour supprimer le pouls soit égale à la pression sanguine.

mesure relative de la pression ; en termes plus précis, disons que l'instrument indique si la pression change chez un même individu, dans telles ou telles conditions ; il indique dans quel sens elle change, et quelle est l'importance du changement. En somme, c'est précisément là ce qui intéresse le plus un psycho-physiologiste.

Un autre désavantage du sphygmomanomètre, une autre de ces causes d'infériorité par rapport au manomètre, c'est qu'il constitue un appareil à indications lentes ; il n'enregistre pas le phénomène à mesure que celui-ci se produit ; nous avons vu tout ce qu'il faut faire pour arriver à une mesure de la pression ; le procédé que nous avons employé prend environ 4 minutes.

Parlons maintenant des résultats que nous avons obtenus. Nos expériences ont été limitées en nombre et en nature. Le temps nous a manqué pour faire des expériences prolongées, pour savoir par exemple quel est l'effet exercé sur la pression du sang par le travail intellectuel d'une journée entière, ou par une marche au pas gymnastique durant sept ou huit heures ; nous ne savons et nous ne prévoyons aucun des effets qui pourraient se produire dans ces conditions. C'est une étude qui reste entièrement à faire. Nos observations ont porté uniquement sur des épreuves courtes, durant de quatre à huit minutes au maximum.

Les indications données par l'appareil, dans nos diverses épreuves, ont toujours été d'une netteté parfaite, et sans aucune des obscurités qu'on rencontre à chaque pas dans l'étude de la circulation capillaire. La circulation capillaire présente un nombre considérable de modalités, chez les sujets en expérience, et la cause de ces modifications est presque toujours inconnue. Au contraire, les recherches sphygmomanométriques montrent simplement que certaines expériences font changer la pression ; on n'a donc affaire qu'à des augmentations ou à des diminutions des chiffres de la pression sanguine.

Un calcul mental difficile élève la pression de 20 millimètres de mercure ; un travail physique l'élève de 30 millimètres. Voilà à quoi se réduisent nos connaissances actuelles.

Il y aurait lieu de faire des expériences sur le travail intellectuel prolongé, pour voir si la fatigue mentale s'exprime bien dans les changements de pression du sang. Ces recherches pourraient être faites facilement dans les écoles; quelques essais préliminaires nous l'ont montré.

Par quel mécanisme le travail intellectuel court et intense produit-il une augmentation de la pression du sang dans les mains? C'est une question qui n'a pas encore été posée ; on ne peut faire encore que des hypothèses. Deux causes principales modifient la pression : l'action cardiotonique du cœur et le resserrement des vaisseaux. Dans le travail intellectuel court et intense, nous constatons qu'il se produit une constriction des vaisseaux périphériques, spécialement dans la main ; et cette action est capable de relever la pression ; seulement, c'est une action qui est généralement courte; elle se produit surtout au début du travail intellectuel, et elle cesse quand le travail intellectuel dure encore. On ne peut donc pas attribuer un rôle unique à la vaso-constriction, puisqu'elle disparaît à un moment où la pression sanguine continue à être augmentée; il est vrai qu'on ignore quel est l'état des vaisseaux dans les organes profonds. Rappelons enfin qu'une de nos figures a montré un parallélisme très frappant entre la vaso-constriction d'une main et l'augmentation de pression de l'autre main, dans une expérience très courte de travail intellectuel. D'autre part, nous savons que le cœur s'accélère pendant l'effort mental, mais comme nous ignorons si cette accélération est accompagnée d'une augmentation dans la force de contraction, nous ne pouvons pas dire encore quelle est la part du cœur dans l'augmentation de pression.

CHAPITRE IV

INFLUENCE DU TRAVAIL INTELLECTUEL

SUR LA TEMPÉRATURE DU CORPS ET SUR LA PRODUCTION DE CHALEUR

On possède en physiologie deux méthodes pour étudier la chaleur animale : la méthode du thermomètre et celle du calorimètre.

Le thermomètre, dont nous n'avons pas à rappeler ici la construction, sert à mesurer le degré de la température. Dans les observations sur l'homme, on se sert du thermomètre centigrade à mercure, avec des degrés divisés en dixièmes ; la graduation est comprise d'ordinaire entre 35° et 45° ; la colonne mercurielle doit avoir un petit diamètre ; quant au réservoir, s'il est grand, il augmente la sensibilité de l'instrument ; s'il est petit, il augmente la rapidité des indications. La plupart des thermomètres qui sont dans le commerce sont gradués inexactement ; quand on veut s'en servir pour une observation scientifique, il faut les comparer à un thermomètre étalon ; cette comparaison doit être faite non seulement pour tel degré de température, mais pour plusieurs degrés, car il est possible que la différence entre le thermomètre qu'on vérifie et le thermomètre étalon varie pour différents degrés et varie d'une manière très irrégulière. Enfin, il ne faut pas oublier que les thermomètres depuis longtemps en usage cessent d'être exacts.

Une mesure de la température sur l'homme doit prendre environ quinze minutes, et pendant les cinq dernières minutes la colonne mercurielle doit rester stationnaire. On note en même temps la température ambiante.

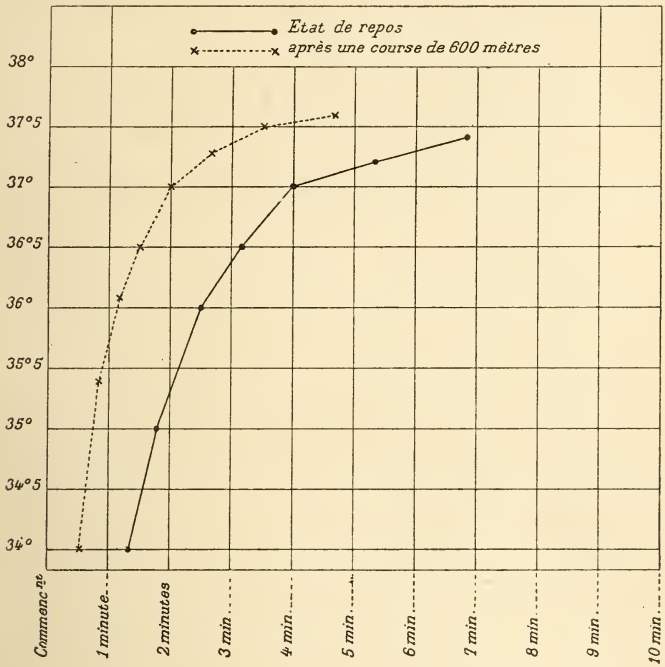

Fig. 55. — Graphique indiquant la vitesse d'ascension du thermomètre placé dans la paume de la main chez un garçon de douze ans ; le trait plein correspond à la vitesse d'ascension du thermomètre pendant que le sujet est à l'état de repos, le pointillé indique la vitesse d'ascension après une course de 600 mètres ayant duré cinq ou six minutes. On remarque que la température finale a augmenté seulement de deux dixièmes de degré, tandis que la vitesse d'ascension du thermomètre a beaucoup augmenté.

Grasset a montré dernièrement, dans des recherches sur des malades, qu'on peut tirer de curieuses indications de la rapidité d'ascension de la colonne mercurielle[1]. Nous

[1] Association pour l'avancement des Sciences. Session de Grenoble, 1885, 13 août. Voir aussi *Intermédiaire des Biologistes*, n° 4, 1897.

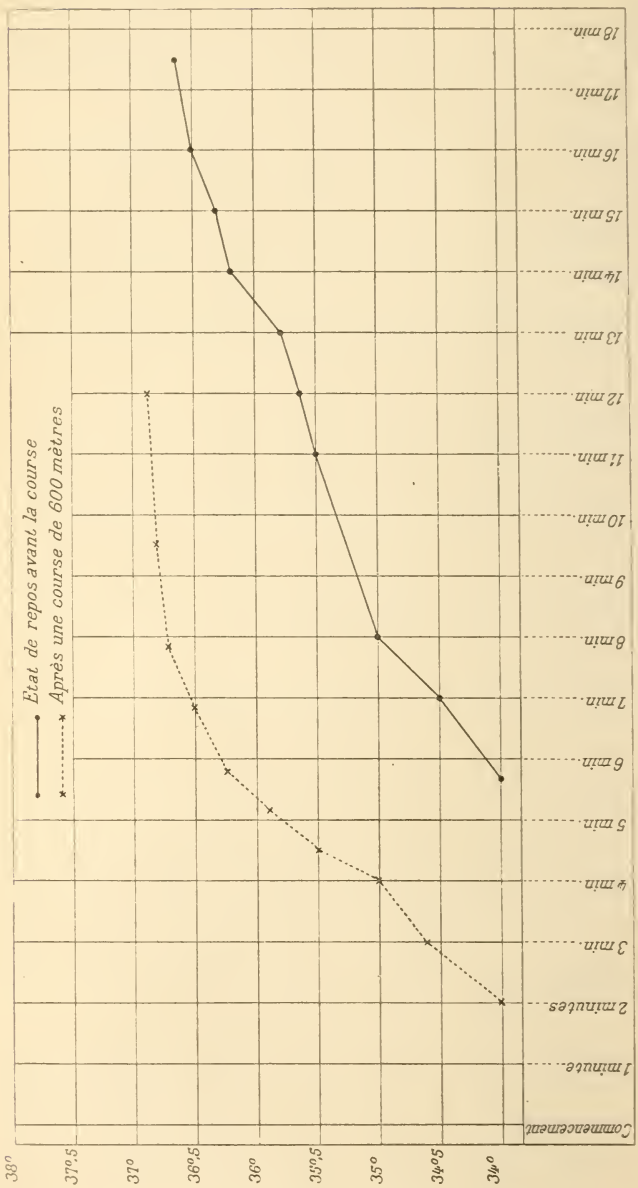

Fig. 56. — Graphiques équivalents à ceux de la figure précédente et pris chez un autre garçon. On remarque une grande différence entre les deux sujets pour la vitesse d'ascension du thermomètre, dans les deux cas aussi la course a exercé une influence surtout sur la vitesse d'ascension du thermomètre.

avons fait nous-mêmes quelques observations curieuses sur ce point; nous avons pris sur une dizaine d'enfants la température de la paume de la main, le thermomètre étant placé dans le poing fermé ; l'expérience était faite deux fois, la première pendant un état de repos, le sujet assis, et la seconde après une course de vitesse ayant beaucoup accéléré le cœur et la respiration. Le plus souvent le degré de la température dans la main est augmenté par la course, mais ce n'est pas constant ; il est arrivé plusieurs fois que le degré de température qu'on a relevé était le même avant et après la course. Les graphiques des figures 55 et 56 résument quelques-unes des observations que nous avons recueillies sur la température. Or, il s'est trouvé que la rapidité d'ascension du thermomètre a toujours augmenté après la course, et elle a augmenté même dans le cas où la course ne produisait aucun changement dans le degré thermométrique de la main. Nous nous bornons pour le moment à signaler ces observations ; elles sont encore trop peu nombreuses et trop peu variées pour qu'on puisse les interpréter ; nous pouvons cependant en tirer dès à présent la conclusion pratique qu'il est utile d'enregistrer, avec le degré de température, la rapidité d'ascension du thermomètre. Le chiffre indiquant en minutes la durée de l'ascension n'a qu'une valeur relative et dépend de la quantité de mercure contenue dans le thermomètre ; on doit par conséquent employer le même thermomètre pour avoir des chiffres comparables.

Comment peut-on mesurer la rapidité d'ascension de la colonne mercurielle ? On n'a pas encore construit jusqu'ici des thermomètres enregistreurs à mercure, et les essais qui ont été faits n'ont pas réussi. Le moyen le plus simple est de surveiller l'ascension de la colonne en ayant à la main une montre à secondes ; on note à mesure les dixièmes de degré et le moment précis où ils sont atteints ; mais c'est un procédé très fatigant, qui demande une grande contention d'esprit. Un autre pro-

cédé, beaucoup plus simple et plus exact, consiste à surveiller le thermomètre en faisant, avec une poire en caoutchouc ou avec un électro-aimant Deprez sur un cylindre tournant, des signaux à chaque dixième de degré qui est franchi par la colonne de mercure.

Nous ne faisons que signaler, parmi les appareils servant à mesurer le degré de la température, les aiguilles thermo-électriques ; ces appareils ont beaucoup plus de sensibilité que les thermomètres ordinaires, on a pu s'en servir pour évaluer jusqu'à 1/4000e de degré.

Les calorimètres sont fondés sur un principe tout différent de celui des thermomètres ; ils servent à mesurer la quantité de chaleur dégagée dans un temps donné par une partie ou par la totalité d'un organisme. La physique nous enseigne que la quantité de chaleur n'est pas nécessairement la même chose que le degré de température ; il y a des corps portés à un degré de température très élevé qui possèdent une quantité de chaleur moindre que d'autres corps présentant un degré moindre de température. Ainsi, pour élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau, il faut la même quantité de chaleur que pour élever de 9 degrés la température d'un kilogramme de fer. Les calorimètres sont des appareils clos, entourés de corps mauvais conducteurs; on y recueille toute la chaleur produite par un organisme, et on emploie cette chaleur à augmenter la température d'une certaine quantité d'eau ou d'air contenue dans le calorimètre ; c'est là le principe de bon nombre de calorimètres.

La température du corps humain dépend d'un si grand nombre de conditions, et varie avec un si grand nombre d'influences que les recherches de thermométrie humaine doivent être considérées comme des plus difficiles. Bien qu'on donne comme température normale de l'homme le chiffre de 36°.5, il ne faut pas oublier que la tempéra-

ture varie suivant les régions du corps. Voici quelques chiffres :

Visage	31°
Plante du pied	32°
Milieu de la cuisse	34°,40
Creux poplité	35°
Creux axillaire	36°,5
Urine	37°,03
Bouche, sous la langue	37°,19
Rectum	38°,01
Sang	39°

Notons, comme un fait qui intéresse particulièrement nos études, que la température de la peau du crâne est plus élevée dans la région frontale et dans la région pariétale que dans la région occipitale ; elle est aussi plus élevée du côté gauche que du côté droit. Nous aurons à revenir plus tard sur ce point.

La température présente une périodicité diurne, qui a

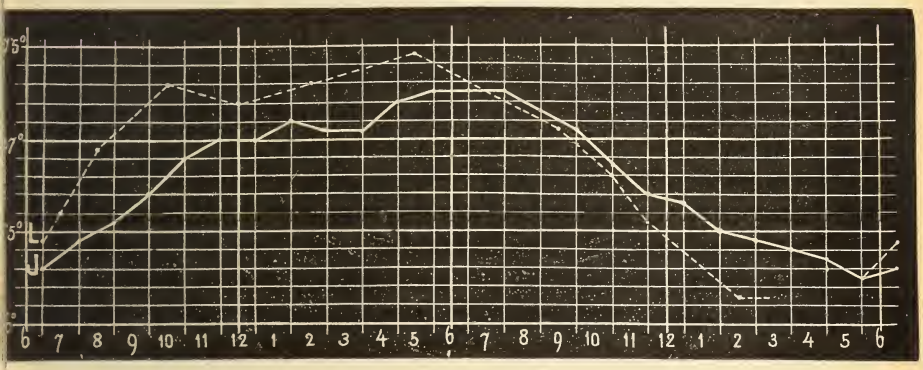

Fig. 57. — Courbes représentant les variations de la température de l'homme pendant le jour et la nuit (Landois).

L..., d'après v. Liebermeister. — J..., d'après Jürgensen.

été étudiée par plusieurs auteurs. On a constaté que d'une manière générale la température est plus élevée pendant le jour que pendant la nuit (voir fig. 57) ; elle commence à s'élever vers six heures du matin ; elle continue à s'élever

pendant toute la journée et atteint son maximum entre 5 heures et 8 heures du soir ; à partir de 8 heures du soir, elle descend régulièrement jusqu'à 6 heures du matin. La différence maxima entre les divers temps de cette période ne dépasse pas 1°,5. La moyenne de ces diverses températures, ou moyenne journalière, est de 37°,13 (prise dans le rectum).

La température périphérique, que l'on oppose souvent à la température centrale prise dans la bouche, dans l'aisselle ou dans le rectum, est beaucoup plus variable ; elle diffère, dans de larges proportions, d'un individu à l'autre ; chez le même individu, elle présente des courbes différentes d'un jour à l'autre ; ses oscillations dépendent de la température extérieure et aussi de l'influence du système nerveux vaso-moteur ; les vaso-constrictions et vaso-dilatations produisent des changements notables dans la température de la périphérie du corps.

Römer a étudié la courbe quotidienne de la température périphérique, mesurée dans la paume de la main, en la comparant à la courbe centrale chez le même individu. Les oscillations de la température palmaire sont énormes ; elles peuvent atteindre en une journée 6°. Pendant la nuit, la température est élevée ; elle commence à baisser vers 6 heures du matin et jusqu'à 10 heures ; puis elle présente une lente élévation, dont le maximum est atteint après le repas de midi. Il y a ensuite de 1 heure à 3 heures une descente ; à partir de 6 à 8 heures, survient une nouvelle élévation, et de 8 heures du soir jusqu'à 10 heures du matin la température reste stationnaire. La température périphérique, d'après Römer, baisse rapidement quand la température interne s'élève ; ainsi la température rectale est supérieure à la moyenne dans la journée, tandis que la température périphérique est, dans la journée, inférieure à la moyenne.

On a étudié jusqu'ici de deux manières l'influence du

travail intellectuel sur la température du corps ; on a suivi cette influence sur la température périphérique et aussi sur la température centrale.

Influence du travail intellectuel sur la température périphérique. — C'est une question qui est encore à l'étude, et les observations recueillies jusqu'ici sont moins intéressantes par les chiffres qu'elles contiennent que par les causes d'erreur qu'elles ont mises en évidence. On a surtout fait de la thermométrie cranienne sur l'homme, dans l'espoir que cette thermométrie cranienne pourrait donner des indications sur la thermométrie cérébrale. Rappelons d'abord que Lombard, Broca, Maragliano, Gray ont constaté que la température du crâne n'est pas la même dans les diverses régions ; voici les différences observées :

	RÉGION FRONTALE			RÉGION PARIÉTALE			RÉGION OCCIPITALE		
	Gauche.	Droite.	Moyenne.	Gauche.	Droite.	Moyenne.	Gauche.	Droite.	Moyenne.
Broca . .	»	»	35,28	»	»	33,72	»	»	32,92
Gray. . .	34,64	34,28	34,46	34,68	34,21	34,45	33,70	33,30	33,50
Asile de Reggio.	36,20	36,15	36,17	36,18	36,15	36,16	36,01	35,95	35,98
Maragliano. . .	35,85	35,02	35,44	35,50	35,25	35,37	35,40	34,92	35,16

Ces tableaux montrent que, quoique les chiffres des différents auteurs diffèrent souvent de plusieurs degrés, il y a constamment une élévation de température plus forte dans la moitié gauche de la tête que dans la moitié droite.

Lombard, Broca, Maragliano, Amidon ont étudié chez l'homme la température cranienne pendant le travail intellectuel, et ils ont tous constaté que pendant le travail intellectuel la tête s'échauffe, surtout dans les régions antérieures. Mais cet échauffement du cuir chevelu con-

corde-t-il avec une augmentation de la température du cerveau? Les précédents auteurs l'ont admis sans grande difficulté; et cette concordance a paru si bien prouvée à l'un d'eux, Amidon, que cet auteur s'est fait fort de délimiter les centres moteurs corticaux en explorant la surface de la peau du crâne avec un thermomètre. Voici quelle était sa méthode : il maintenait pendant longtemps en contraction volontaire un membre, par exemple le bras gauche, et il trouvait que pendant cet effort la tête s'échauffait et que le maximum d'échauffement se produisait dans la moitié droite de la tête, en un point correspondant au centre moteur du bras gauche. Il a publié dans son travail une figure dans laquelle la topographie des centres moteurs corticaux est établie par cette méthode.

Bien que les résultats d'Amidon soient présentés avec l'appui d'un nombre très considérable d'expériences, leur exagération même a mis en garde les plus sceptiques, et on a senti le besoin de soumettre toute la question à un examen critique sérieux; François-Franck[1], et ensuite Istamonoff[2], ont recherché expérimentalement dans quelle mesure une augmentation de chaleur du cerveau peut se transmettre à la surface extérieure de la tête; et ils ont trouvé qu'il faut une augmentation de 3° de la température du cerveau pour élever d'un dixième de degré seulement la température de la tête. Or, comme une augmentation de 3° dans la température du cerveau est infiniment improbable, il en résulte que le thermomètre appliqué sur la tête ne peut rien nous apprendre sur les variations thermiques du cerveau.

Il paraît avéré que les vaisseaux sanguins du cuir chevelu se comportent d'une manière indépendante des vaisseaux sanguins du cerveau.

L'influence du travail intellectuel sur les autres températures périphériques et notamment sur celle de la main est une question qui a été un peu négligée, parce que les

[1] Art. *Encéphale* du Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales.
[2] *Pflüger's Arch.*, Bd. 38, 1886, p. 113.

expérimentateurs ont eu l'idée préconçue que la température périphérique n'a rien de fixe, et qu'elle présente d'un sujet à l'autre, d'un moment à l'autre, et suivant les influences thermiques extérieures, des oscillations énormes. Cependant L. Couty[1], après une étude consciencieuse sur la température palmaire, qu'il a mesurée chez des étudiants en médecine et des infirmiers militaires, arrive à la conclusion que cette température, quoique très variable avec les divers individus, oscille pour chaque individu entre des limites assez étroites et constitue pour lui — Couty ne prononce pas le mot, mais il en a l'idée — une caractéristique physiologique. Le même auteur admet que le plus ou moins d'élévation de la température palmaire moyenne de chaque individu ne dépend ni de la constitution, ni du tempérament, ni de l'état de vigueur ou de faiblesse du sujet ; seul, le plus grand développement nerveux et intellectuel a paru avoir une action constante sur l'état de la température périphérique. Cette affirmation est si curieuse, si inattendue, que nous avons tenu à la rapporter en employant les termes mêmes de l'auteur ; mais nous nous hâtons d'ajouter qu'elle ne nous paraît pas confirmée par les chiffres de son article. Il compare en effet, au point de vue intellectuel, un premier groupe de sujets, composés d'élèves en médecine et d'étudiants engagés volontaires, avec un second groupe formé d'infirmiers de visite et d'infirmiers d'exploitation, et il constate que la température palmaire des premiers est en moyenne plus élevée que celle des seconds, qui sont tous des individus moins instruits ; il oublie de remarquer — ce que ses tableaux montrent — que la température des premiers et des derniers n'a pas été prise aux mêmes époques de l'année et que les observations sont peu comparables.

Influence du travail intellectuel sur la température centrale. — Une demi-douzaine d'expérimentateurs ont étudié

[1] *Arch. de physiologie*, janvier et mars 1880.

l'influence du travail intellectuel sur la température de l'aisselle et celle du rectum, et ils sont arrivés tous à peu près à la même conclusion, à savoir que des efforts d'attention soutenue, le calcul mental ou simplement la lecture, déterminent une augmentation de chaleur ; mais cette augmentation est toujours très légère ; Davy n'a observé qu'un demi-dixième de degré ; Speck a noté une augmentation d'un dixième et même de deux dixièmes. Une des expériences les plus complètes a été faite par Gley[1] sur lui-même, au lit, en prenant sa température rectale au moyen d'un thermomètre à mercure, dont la cuvette était assez grosse et dont la tige coudée montait assez haut pour que le sujet pût suivre lui-même la montée de la colonne de mercure ; le thermomètre était gradué de 35 à 42°, et chaque degré était divisé en 25 parties. Voici deux expériences faites avec ce dispositif :

La première commence au lit, à 7 h. 30 du matin ; les températures suivantes sont observées :

7 h. 30	36°32	
35	36°32	Repos.
40	36°32	
45	36°34	
50	36°32	
55	36°34	
8 h. 05	36°34	
10	36°36	Lecture.
15	36°40	
20	36°40	
25	36°42	
30	36°46	
35	36°48	
40	36°48	Repos.
45	36°50	
50	36°50	
55	36°48	
9 h.	36°48	

[1] Richet. *La chaleur animale*, p. 98.

Dans cette expérience la lecture a coïncidé avec une augmentation de température égale à 1 dixième de degré ; la température a continué à augmenter quand le travail intellectuel était terminé. (Il consistait à lire un article de la *Revue philosophique*.) Puis la température est devenue stationnaire et enfin elle a commencé à redescendre. A 9 h. 50 elle était à 36°,36, et l'auteur refit une seconde expérience, consistant aussi dans une lecture de la *Revue philosophique*.

Voici les températures :

9 h. 50.	36°36	Repos.
55.	36°36	
10 h.	36°38	
05.	36°40	
10.	36°42	
15.	36°44	Lecture.
20.	36°48	
25.	36°48	
30.	36°50	
35.	36°52	
40.	36°52	
45.	36°52	
50.	36°52	Repos.
55.	36°52	
11 h.	36°52	
05.	36°52	
10.	36°52	
15.	36°54	
20.	36°56	Lecture.
25.	36°54	
30.	36°54	

Les deux lectures successives qui ont eu lieu dans cette seconde partie de l'expérience ont chacune élevé la température du rectum. En résumé, ce travail intellectuel a provoqué une production de chaleur égale en moyenne à 15 centièmes de degré.

Ce résultat, comme tous ceux que nous donnons dans ce chapitre, n'a qu'une valeur empirique, car on ne sait

pas au juste par quel mécanisme un travail cérébral produit un échauffement dans le rectum. Du reste, il paraît aujourd'hui démontré que la température du rectum peut rester stationnaire alors que la température du cerveau s'élève ; c'est ce qui ressort des expériences récentes de Mosso, qui a introduit des thermomètres à la fois dans le rectum et dans l'intérieur du crâne, en contact avec le cerveau ou les méninges, et a constaté à maintes reprises que les deux courbes de température ne se développent pas parallèlement.

Les recherches de Mosso, que l'on trouve exposées dans plusieurs recueils[1], ne sont pas faciles à résumer, parce que l'auteur leur a donné la forme d'un compte rendu très précis de toutes les observations qu'il a faites, et il semble avoir craint de condenser ses observations en quelques propositions générales. Il a employé pour mesurer la température du cerveau des thermomètres à mercure dont le réservoir cylindrique ne contenait que 4 grammes de mercure : sur ces thermomètres on pouvait lire avec des loupes spéciales le 0,002 d'un degré. Les expériences ont été faites sur des animaux et sur l'homme. Nous n'avons à parler ici que de ces dernières (p. 128 à 182 de l'édition italienne). Elles ont porté spécialement sur une petite fille de douze ans, Delphina Parodi, de Suse, qui venait se faire soigner à l'hôpital de Turin pour une fracture du crâne siégeant dans la région fronto-pariétale, et mettant à nu les méninges sur une longueur de 3 à 4 centimètres ; la plaie n'était pas saine, elle avait un aspect fongueux ; sur un point la dure-mère était perforée, et Mosso put profiter de la perforation pour y introduire une sonde jusqu'à une longueur de 8 centimètres ; ensuite un thermomètre fut poussé jusqu'à la scissure de Sylvius et mis en contact avec la surface même du cerveau : le thermomètre était plongé dans le crâne à une profondeur de

[1] *La temperatura del cervello. Studi termometrici*, Milano, 1894. — *Die Temperatur des Gehirns*. Leipzig, 1894. — *Philos. Trans. of the R. Soc. of London*, 1892, vol. 183. — Conf. I. Soury. *Rev. Philos.*, 1897, XLIII, p. 388.

5 centimètres. On introduisit en même temps un autre thermomètre dans le rectum.

Deux ordres d'expériences furent faits sur cette enfant : d'une part, on étudia pendant son état de veille quel effet produisaient sur sa température cérébrale des mouvements, des actes d'attention ou des états émotionnels ; d'autre part, on l'a observée pendant qu'elle dormait et on a constaté l'influence des excitations extérieures sur la température de son cerveau. Les premières recherches ont donné de bien petits résultats, et cela n'est pas étonnant, les conditions expérimentales étaient si mauvaises. La malheureuse enfant était en proie à une terreur profonde quand on la transportait dans la salle d'expériences et qu'on commençait à enfoncer un thermomètre dans son crâne ; aussi, les petites opérations mentales qu'on la priait d'accomplir, comme de compter, et les mouvements qu'on lui disait de faire avec ses bras, dans l'espoir de faire élever la température de son cerveau, ne donnèrent aucun résultat appréciable parce que la malade y trouvait un soulagement à sa peur ; elle se disait sans doute que pendant qu'elle s'occupait à compter, on ne ferait pas sur elle quelque nouvelle opération chirurgicale. Cette remarque et cette interprétation appartiennent à Mosso ; cela suffit pour nous prouver qu'on ne pouvait faire aucune observation précise sur cette enfant pendant l'état de veille.

Nous donnons cependant, d'après l'auteur, le graphique de la température du cerveau et de celle du rectum pendant une partie d'une matinée. A 8 h. 35, le thermomètre est enfoncé de 5 centimètres dans la brèche cranienne, et aussitôt après un second thermomètre est enfoncé dans le rectum. La température du cerveau est enregistrée à 8 h. 45, soit dix minutes après l'introduction ; elle monte de 0°,20, tandis que le rectum se refroidit. Cet échauffement est dû peut-être à l'irritation mécanique produite par l'instrument, peut-être aussi à la peur. En A, la malade raconte son histoire, pendant deux minutes ; le cerveau continue à

s'échauffer, et il y a un léger échauffement du rectum. En B, contractions de la mâchoire ; la température du cerveau reste stationnaire ; en C, la malade parle, la courbe du cerveau monte de 0°,01 ; en D, la malade serre avec les deux mains, point d'effet ; en E, on annonce à la malade qu'on va ouvrir sa plaie, point d'effet ; en F, la malade compte jusqu'à 100, légère élévation de 0°,01 ; en G, on

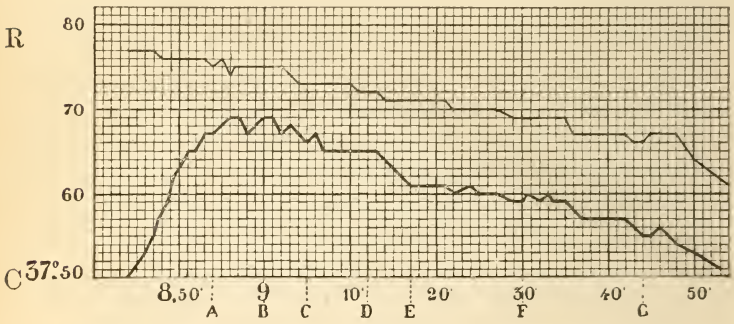

Fig. 58. — Température du cerveau et du rectum prise par Mosso sur une fille de douze ans. Le tracé supérieur correspond au rectum.

menace la malade de la chloroformiser, il y a une élévation de température de 0°,01 pour le cerveau et pour le rectum. On voit par ces chiffres que l'influence de ces excitations a été très faible et souvent problématique.

La seconde expérience que nous relaterons a été faite la nuit, la malade endormie ; elle dormait depuis une demi-heure, le thermomètre dans le crâne, quand on prit les températures. Cerveau et rectum tendent d'abord à se refroidir ; les deux courbes descendent rapidement avec de petites oscillations. En A, la malade fait une inspiration profonde ; le refroidissement du cerveau se ralentit un peu, puis reprend. En B, un chien aboie, et le bruit est assez fort, mais ne réveille pas la malade ; la courbe thermique cérébrale monte de 0°,08 ; la courbe du rectum montre une élévation plus tardive et bien plus petite. En C, un assis-

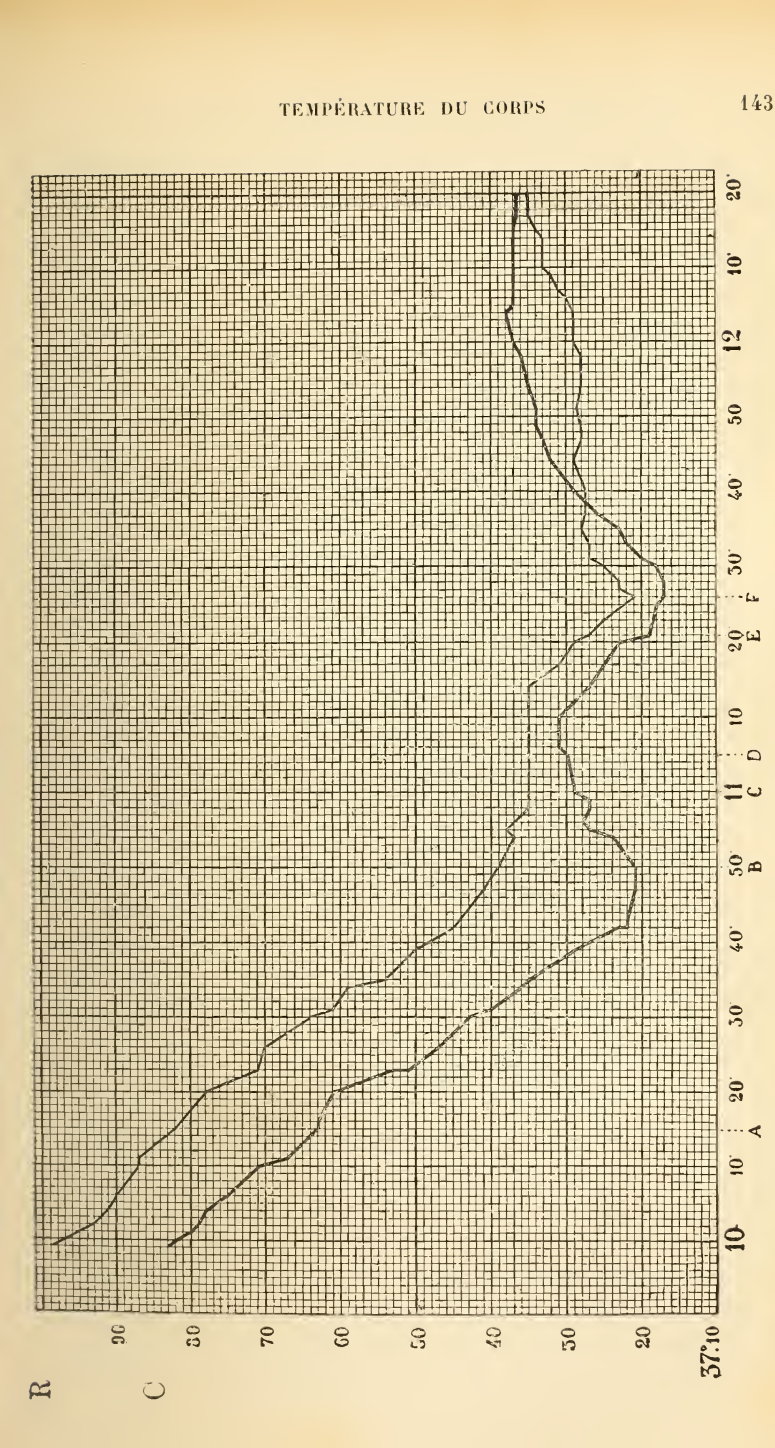

Fig. 59. — Tracés de la température du cerveau et du rectum chez une fille de douze ans. L'expérience a été faite pendant que le sujet dormait (Mosso).

tant tousse ; la courbe du cerveau monte encore. En D, nouvel aboiement du chien ; la courbe du cerveau monte de 0°,01, mais la courbe du rectum ne varie pas. En E, la malade ronfle. En F, la malade est interpellée, et elle se réveille un peu ; le cerveau se réchauffe ; mais elle s'endort de nouveau à 11 h. 30, et la courbe du cerveau monte quand même, ce que Mosso explique en disant que le sommeil était devenu moins profond qu'avant. Cette seconde observation est incontestablement bien plus probante que la première.

On voit par ce qui précède que l'influence du travail intellectuel sur la chaleur animale reste une des questions les moins étudiées. Tout ce qu'on sait est que le travail intellectuel augmente vraisemblablement la température du cerveau. Du reste, la question est, tant au point de vue théorique qu'au point de vue expérimental, une des plus compliquées de la physiologie. La chaleur animale que l'on mesure au thermomètre est une résultante de beaucoup de fonctions qui agissent tantôt dans un sens, tantôt dans un autre ; et c'est bien à propos de l'enregistrement de la chaleur que l'on comprend tout ce qu'il y a d'empirique à se borner à l'étude de la température dans un seul point. Tout d'abord la production de chaleur dans un organe en particulier est en relation avec l'intensité de fonctionnement de cet organe ; une glande s'échauffe pendant qu'elle sécrète, un muscle pendant qu'il se contracte. La combustion interstitielle des tissus est en outre modifiée par plusieurs facteurs, comme la richesse des matériaux nutritifs apportés par le sang à l'organe qui fonctionne, et aussi l'influence que le système nerveux exerce sur cet organe ; tout cela modifie dans une certaine mesure la production de chaleur. Après la production, une autre fonction intervient, la répartition de la chaleur entre des organes différents, ayant des températures différentes ; l'agent principal de cette répartition est le sang, dont la température est constamment très élevée ; le sang, par son

afflux dans un organe, peut en élever la température, à moins, bien entendu, que cet organe présente une température plus élevée que le sang. Enfin, après la distribution de la chaleur, il faudrait pouvoir tenir compte de son émission au dehors, de sa propagation dans les milieux extérieurs, l'organisme pouvant soit rayonner une grande partie de sa chaleur, soit au contraire la conserver. La régulation de cette fonction importante se fait par les nerfs vaso-moteurs et par la respiration ; la dilatation vaso-motrice des petits vaisseaux de la périphérie provoque un afflux abondant du sang à la périphérie, d'où résulte un refroidissement par rayonnement, tandis que dans une vaso-constriction réflexe, le sang est chassé des extrémités et conserve mieux sa température ; la respiration est aussi une fonction thermique ; en précipitant ses mouvements, elle provoque une augmentation dans le dégagement de vapeur d'eau, et un refroidissement du corps.

Les détails très simplifiés que nous venons de donner suffiront à montrer que l'étude de la température et des changements de température pendant le travail intellectuel présente un très grand nombre de difficultés.

CHAPITRE V

INFLUENCE DU TRAVAIL INTELLECTUEL

SUR LA RESPIRATION

On possède aujourd'hui en physiologie un grand nombre de méthodes et d'instruments permettant d'étudier dans tous ses détails la fonction respiratoire. Ces méthodes peuvent être divisées en trois catégories :

1° Il y a d'abord la méthode graphique consistant à enregistrer les changements de dimension que présente le thorax pendant les actes respiratoires. Au moyen de pneumographes de différents types, appliqués sur la poitrine, on inscrit le nombre des respirations par minute, ou pour un temps quelconque, la durée des différentes périodes — inspiration, expiration et pause — composant un acte respiratoire complet, l'intensité de ces mouvements, leur forme, leurs accidents.

2° Une seconde méthode consiste à mesurer avec des spiromètres et des gazomètres la quantité d'air utilisé dans la respiration ; on distingue la quantité maxima d'air qui peut être contenue dans les poumons, la quantité maxima qu'on peut expirer avec effort après une forte inspiration, et la quantité moyenne qui entre et qui sort à chaque respiration normale, ou pendant une expérience particulière.

3° Une troisième méthode consiste dans l'analyse chimique du gaz ayant servi à la respiration ; on dose l'oxy-

gène, l'acide carbonique, et on peut se rendre compte de l'intensité des combustions qui se produisent au sein des tissus.

Jusqu'ici, la seule étude qui ait été faite sur les rapports du travail intellectuel et de la respiration est celle des mouvements respiratoires du thorax pendant que le sujet fixe son attention ou exécute un calcul mental ; quelques expériences éparses ont été faites sur la composition chimique des gaz de la respiration. On voit par conséquent combien il reste encore à faire.

Nombre de mouvements respiratoires. — Le nombre des mouvements respiratoires varie à peu près dans le même sens que le nombre des pulsations du cœur, et il y a parallélisme des plus frappants entre les deux fonctions ; la plupart des influences qui accélèrent les pulsations du cœur accélèrent aussi la respiration ; on peut ajouter aussi, le fait est moins connu, que les mêmes influences retardent la respiration et le cœur.

On observe seulement quelques différences individuelles ; chez certaines personnes, une des fonctions se modifie plus facilement que l'autre ; la respiration, en général, est plus sensible que le cœur aux causes d'excitation. En outre, ce qui constitue une différence générale, c'est que la respiration peut être modifiée directement par la volonté ; on peut suspendre la respiration ou la précipiter, tandis qu'on ne peut pas, en général, modifier directement, par un acte de volonté, le rythme du cœur. Cette circonstance peut devenir une cause d'erreur dans les expériences sur la vitesse de la respiration.

Le nombre de mouvements respiratoires par minute varie chez les adultes de 12 à 24 ; on peut retenir comme nombre moyen 15 ou 16 ; il y a donc en moyenne un mouvement respiratoire pour cinq pulsations.

Comme pour le cœur, la respiration est plus rapide chez les enfants que chez les adultes. Voici un tableau qui con-

tient le nombre de respirations par minute pour des individus d'âges différents ; dans la troisième colonne nous donnons les noms des auteurs auxquels appartiennent les observations.

AGES	NOMBRE de respirations par minute.	AUTEURS
6 semaines . . .	52	Salathé.
1 à 3 ans	35 à 40	Allix.
1 à 4 —	20 à 36	Monti.
2 à 5 —	20 à 32	Barthez et Rilliet.
5 ans.	26	Quetelet.
6 —	20,6	Smith.
8 —	20,8	Id.
6 à 10 ans. . . .	20 à 28	Barthez et Rilliet.
6 1/2 à 14 ans. .	21,5 à 24,9	Rameaux
15 à 20 ans. . . .	20	Quetelet.
20 à 25 — . . .	18,7	Id.
25 à 30 — . . .	16	Id.
30 à 50 — . . .	18,1	Id.

Chez un même individu le nombre de respirations par minute n'est pas un nombre fixe, il varie sous l'influence d'un grand nombre de causes extérieures ; nous rapportons brièvement ces variations pour qu'on ait un terme de comparaison avec les variations que l'on observe à la suite du travail intellectuel.

La position du corps influe sur le nombre de respirations ; d'après Guy les nombres de respirations sont : couché, 13 ; assis, 19 ; debout, 22.

Le nombre de respirations varie suivant les heures de la journée ; le tableau suivant contient les chiffres obtenus par Vierordt ; il a pris simultanément la respiration et le pouls ; nous transcrivons les deux ordres de résultats :

HEURES de détermination.	RESPIRATIONS par minute.	POULS par minute.
9 heures	12,1	73,8
10 —	11,9	70,6
11 —	11,4	69,6
12 —	11,5	69,2
12 h. 1/2 *à* 1 h. (*déjeuner*) .		
1 heure.	12,4	81,5
2 —	13	84,4
3 —	12,3	82,2
4 —	12,2	77,8
5 —	11,7	76,2
6 —	11,6	75,2
7 —	11,1	74,6

On voit que la respiration varie dans le même sens que le pouls.

Après les repas, la respiration s'accélère un peu. Une augmentation de la température externe diminue le nombre de respirations ; ainsi par exemple Vierordt a observé pour une température de 8°, 12,2 respirations par minute, et pour une température de 19° dans les mêmes conditions, 11,5 respirations.

Enfin, pendant le sommeil, la respiration devient plus lente , elle diminue chez l'adulte d'environ un quart.

Pour avoir un terme de comparaison permettant d'apprécier les effets du travail intellectuel, rappelons quels sont ceux du travail physique sur la respiration. On sait qu'une course de vitesse, en même temps qu'elle produit une accélération du cœur, produit une précipitation énorme des mouvements respiratoires, qui constitue bientôt, si on continue à courir, un état très pénible d'essoufflement; et on est alors obligé de s'arrêter, non parce que les jambes sont fatiguées, mais parce que la respiration est à bout. De là cette expression pittoresque et très juste de Tissié : *on marche avec ses jambes, on court avec ses poumons.*

Ces effets sont connus ; ce qui l'est beaucoup moins, ce sont les ralentissements de la respiration pendant des efforts physiques locaux et violents.

Nous avons dit plus haut qu'une personne qui fait un violent effort ralentit son cœur ; il en est de même pour la respiration. Seulement le ralentissement respiratoire est plus difficile à observer que le ralentissement du cœur, parce que chez beaucoup d'individus chaque effort musculaire s'accompagne d'une inspiration, et que si les efforts musculaires se répètent souvent, ils produisent indirectement une accélération de la respiration.

Le travail psychique ne produit pas, cela va sans dire, des effets aussi accentués que le travail physique. On n'a étudié jusqu'ici que deux formes du travail psychique : l'une consiste dans le calcul mental court, durant quelques minutes, l'autre est la fixation de l'attention sur un stimulus extérieur.

Le calcul mental produit une accélération de la respiration, il provoque environ deux à quatre respirations supplémentaires par minute. L'accélération la plus forte que nous ayons observée dans une série d'expériences a été de 4,5. On peut se rendre compte des résultats en jetant les yeux sur le tableau suivant; parmi les sujets ayant servi à nos expériences, il en est un qui est remarquable par la lenteur de ses mouvements respiratoires. Lorsque le calcul mental est terminé, la respiration reprend sa vitesse normale, parfois elle présente un léger ralentissement ; un ou deux actes respiratoires sont plus prolongés que les autres, et souvent le sujet fait une respiration profonde. Ce ralentissement respiratoire est à rapprocher du ralentissement du cœur, qui se manifeste aussi dans les mêmes conditions.

Influence du travail intellectuel court et intense sur le cœur et la respiration. (Les chiffres se rapportent à une minute.)

SUJETS	DURÉE du travail intellect.	POULS			RESPIRATION		
		Avant.	Pendant.	Après.	Avant.	Pendant.	Après.
E . . .	55 sec	79,5	102	96-90-87	10,5	13,5-12	12-10,5
E . . .	90 —	75	99	90-81-69	12	15-12-13,5	13-10-10
C . . .	80 —	70	75	75-69	7,5	7,5-12-12	10,5-9
C . . .	150 —	70	75	68	9	9-13,5	9,5-9
C . . .	42 —	—	—	—	7,5	10,5	9,5
Pi . . .	40 —	72	74	76	15	18-18	12
Ph. . .	60 —	72	80	77	11,5	15-15	13-11,5
F. . . .	42 —	70	78	73	15	15	15
H . . .	90 —	72	72	72	13	13,5-15	11

Quelques auteurs ont observé que lorsque l'attention d'une personne est fixée par une excitation extérieure, il y a un léger ralentissement de la respiration ; mais les observations qu'on a faites sont encore peu nombreuses.

Forme de la respiration. — Outre le nombre des respirations par minute, on étudie le rythme et la durée des différentes phases de la respiration ; cette étude se fait en recueillant la courbe du mouvement respiratoire au moyen d'appareils spéciaux, appelés pneumographes ; ces appareils enregistrent les déplacements de la cage thoracique pendant l'acte respiratoire, ou les mouvements de l'air expiré.

Il suffit d'entourer le thorax d'une ceinture et de placer entre la poitrine et cette ceinture une ampoule de caoutchouc communiquant par un tube avec un tambour à levier enregistreur, pour constituer un très simple et très bon pneumographe ; à chaque inspiration, la poitrine s'élargit et presse l'ampoule de caoutchouc ; à chaque expiration, c'est l'effet contraire qui se produit, la poitrine se resserre et l'ampoule se dilate ; ces actions déterminent donc des

poussées d'air en divers sens qui font mouvoir la plume du tambour et inscrivent les diverses excursions du thorax. Les pneumographes de Bert, de Marey et de Laborde sont fondés sur un principe analogue, avec une différence dans la disposition de l'ampoule de caoutchouc ; cette ampoule, qui est, suivant les appareils, un cylindre, un tambour ou un cône, est fixée aux deux extrémités de la ceinture entourant le thorax, de sorte que le mouvement d'expansion du

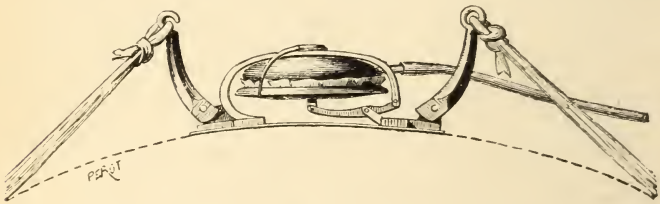

Fig. 60. — Pneumographe de Marey. La ligne pointillée représente le thorax ; lorsque le thorax se soulève pendant l'inspiration, la ceinture qui entoure la poitrine tire sur les leviers ; cette traction est transmise par l'intermédiaire d'un système de leviers à la membrane de caoutchouc du tambour. (Marey.)

thorax pendant l'inspiration produit une traction aux deux extrémités de l'ampoule et augmente le volume de celle-ci, tandis que dans le dispositif que nous avons décrit plus haut la dilatation du thorax produit au contraire une compression de l'ampoule; mais les tracés ne diffèrent pas sensiblement.

Ce qui est essentiel, c'est que le sujet en expérience ne soit pas trop serré dans la ceinture et que la compression ne produise pas une gêne qui pourrait altérer le rythme naturel de sa respiration. Il faut qu'on ne sente pas le pneumographe et qu'on respire comme si on n'en avait pas.

Un tracé de pneumographe, pris sur un adulte dont la respiration est calme et régulière, montre que tout acte respiratoire se compose de trois périodes : l'inspiration, l'expiration et la pause. En général, la durée de l'inspira-

tion est un peu plus courte que celle de l'expiration; la proportion est de 6 à 7 ; mais il y a beaucoup de variations individuelles. L'expiration et la pause expiratoire se relient l'une à l'autre d'une manière insensible, et on aurait de la peine à dire exactement où finit l'expiration et où commence la pause. Cette incertitude a fait admettre à quelques auteurs qu'il n'existe pas de véritable pause expiratoire. Le tracé du pneumogramme est parfois lisse, sans accidents ; parfois on y rencontre des irrégularités, dont les unes sont respiratoires, — par exemple l'interruption du tracé par la déglutition de la salive, — dont d'autres tiennent à ce que le pneumographe a enregistré des battements de cœur énergiques, ayant fortement ébranlé le thorax. Un déplacement des bras, un tressaillement réflexe peuvent aussi altérer le tracé, et on comprend qu'il faut exiger du sujet une immobilité absolue.

Le pneumogramme 1 de la figure 62 a été pris sur un adulte de vingt-cinq ans, avec le pneumographe de Marey appliqué sur la poitrine, à 2 centimètres au-dessous de la hauteur des seins. Le pneumogramme représente donc la respiration costale, il a enregistré le mouvement de soulèvement des côtes. Chez la femme, c'est le type costal de la respiration qui prédomine, tandis que chez l'homme c'est d'ordinaire le type abdominal ou diaphragmatique, ce qui tient à ce que le diaphragme joue le rôle le plus important. Au-dessous du pneumogramme une ligne droite, la ligne des temps, marque des repères toutes les cinq secondes, d'où on peut voir que la respiration était de 18 par minute. Le tracé se lit de gauche à droite. Les inspirations se marquent de haut en bas ; elles sont un peu plus brusques que les expirations ; les expirations se terminent insensiblement, mais on ne pourrait dire s'il existe réellement une pause expiratoire.

La longueur des lignes tracées sur le cylindre dépend de beaucoup de facteurs ; d'abord de la longueur de la plume (cette longueur était de 12 centimètres et demi dans

le tracé précédent) et des dimension du tambour inscripteur ; ensuite de la profondeur des respirations et de la pression exercée par le lien autour de la poitrine. Par suite de cette complexité de conditions, dont beaucoup restent indéterminées, on renonce le plus souvent à traduire en mesures les lignes d'un tracé ; nous ne pouvons dire par exemple que sur notre graphique une ligne d'inspiration de 3 centimètres correspond à une augmentation du diamètre transversal de la poitrine égale à tant de centimètres. Par conséquent, un tracé respiratoire ne peut même pas nous apprendre si la respiration d'un sujet a été superficielle ou profonde ; cette incertitude est très fâcheuse. Tout ce que le tracé nous apprend, ce sont les changements de profondeur qui se produisent au cours d'une expérience, les appareils restant en place. Si par exemple les inspirations ont été au début de 3 centimètres, et qu'à un certain moment elles n'aient plus été que de 2 centimètres, si d'autre part il ne s'est produit aucune fuite dans le tambour et le tube, si le sujet n'a pas changé de position du corps ou des bras, on pourra conclure du tracé que la respiration est devenue à un certain moment plus superficielle.

Le pneumogramme 1 de la figure 62 présente un caractère frappant, la régularité ; bien que la succession d'actes respiratoires qui le composent ne soit pas rigoureusement identique et n'ait pas des graphiques superposables, néanmoins il y a de grandes analogies de forme et d'amplitude. On ne peut inscrire une respiration aussi régulière que chez un sujet bien dressé, habitué à se surveiller. Chez le premier venu, l'application du pneumographe produit un état d'émotivité qui rend la respiration rapide et surtout irrégulière ; même quand cette première émotion s'est dissipée, la respiration ne retrouve pas nécessairement son rythme normal ; il suffit à un novice de fixer son attention sur la respiration pour respirer irrégulièrement ; il ne sait plus respirer s'il se regarde respirer (fig. 61).

Le mieux est alors de distraire le sujet et d'attirer son attention sur un autre point.

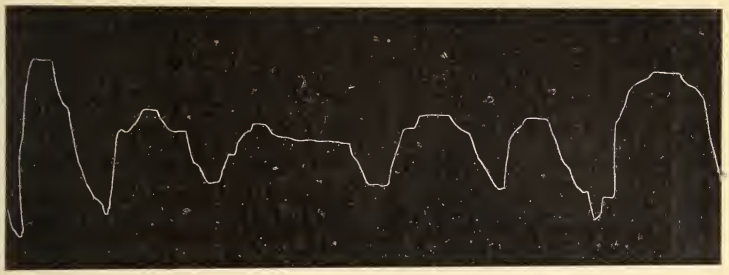

Fig. 61. — Tracé respiratoire donné par un débutant. On voit que les courbes sont très irrégulières ; cette irrégularité devient encore plus frappante si on compare ce tracé au tracé respiratoire de la figure 62, pris chez un sujet habitué à ce genre d'expériences.

Avant d'indiquer l'influence du travail intellectuel sur le rythme respiratoire, rappelons très brièvement quelle est l'influence du travail physique. Nous donnons sur la figure 62 le pneumogramme 3 du même adulte de vingt-cinq ans, après une course de vitesse ayant amené l'essoufflement. Le tracé a été pris avec la même longueur de plume et le même tambour que dans la figure 62, tracé supérieur. On voit tout de suite que la respiration a subi deux modifications, l'une de vitesse, l'autre d'amplitude. Au lieu de 18 mouvements respiratoires par minute, il y en a 23. L'amplitude a beaucoup augmenté, mais nous ignorons dans quelle mesure exacte l'ampliation du thorax a augmenté, le tracé ne nous permet pas de la calculer. En s'amplifiant, la respiration est devenue plus régulière. Ce changement ne se lit pas clairement ici, parce qu'il s'agit d'une personne qui avait à l'état normal une respiration très régulière ; il en serait tout autrement pour un individu qui, n'étant pas habitué aux expériences, donnerait une respiration irrégulière pendant un état de repos ; l'essoufflement régularise la respiration et la soustrait à tous les

changements d'influence psychique. La course de vitesse a produit une autre modification respiratoire, elle a égalisé l'inspiration et l'expiration ; cette dernière est devenue aussi rapide que l'inspiration et la pause a été supprimée.

Nous ne nous attarderons pas sur les effets que l'effort physique local produit dans le mécanisme des mouvements respiratoires, la question est trop complexe pour être traitée ici accessoirement ; nous passerons tout de suite à l'étude du travail intellectuel. Cette question a été étudiée par plusieurs auteurs, Delabarre[1], Lehmann[2], Binet et Courtier[3] et enfin Mac Dougall[4] ; on a surtout envisagé les effets d'un calcul mental.

Nous mettons sous les yeux du lecteur le tracé 2 de la figure 62, qui a l'avantage d'avoir été pris sur le même sujet, avec le même pneumographe, le même tambour et la même plume que les tracés de repos et de course. De cette manière, la comparaison du travail intellectuel avec le repos et la course est beaucoup plus facile. On commence par prendre la respiration normale. Le tracé, comme toujours, se lit de gauche à droite ; la ligne des temps porte des repères marqués toutes les cinq secondes. Au point marqué d'une croix, on donne au sujet la multiplication suivante : 32×69 ; et il commence aussitôt à la faire mentalement. Ce travail lui a paru très pénible. Voici son observation, rédigée par lui-même aussitôt après :

« Lorsque j'entends les nombres dont il faut faire le produit, la première question que je me pose est de savoir comment je dois faire la multiplication ; quelques secondes suffisent pour décider de calculer d'abord le produit de 30 par 70, puis de retrancher 30 de ce produit, ce qui donnera le produit de 30 par 69 ; ensuite calculer le produit de 2 par 69 et l'ajouter au produit précédent.

[1] *Revue philosophique*, 1892.
[2] *Philosophische Studien*, 1894.
[3] *Année psychologique*, II.
[4] *Psychological Review*, 1896, mars.

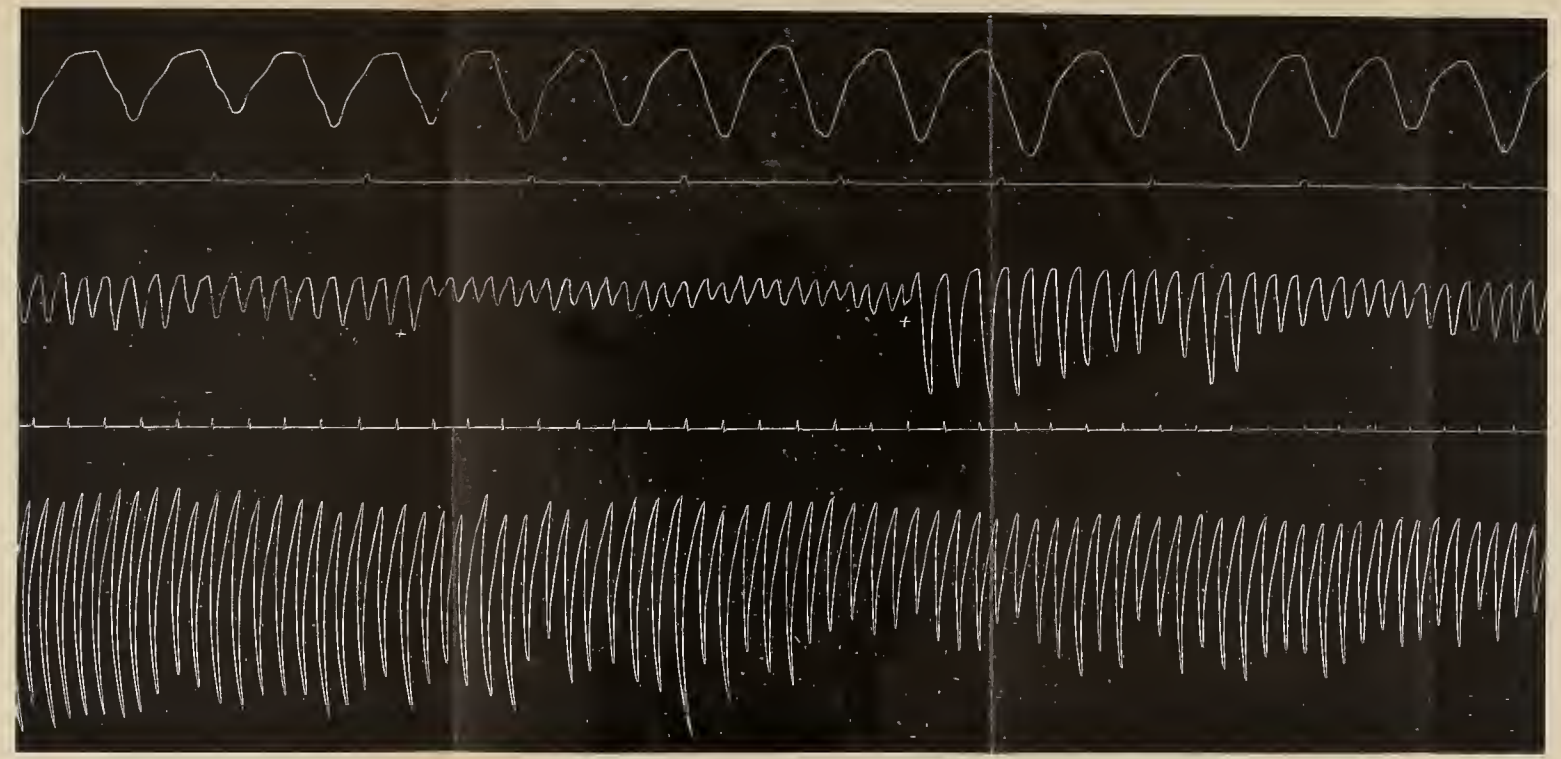

Fig. 62. — Sujet V. II. Tracé de la respiration prise avec le pneumographe de Laborde. Le tracé supérieur indique la respiration normale prise avec une vitesse plus grande du cylindre que pour les deux autres tracés. La ligne des temps indique les durées des intervalles de cinq secondes. Les inspirations sont marquées de haut en bas. Le deuxième tracé est celui de la respiration pendant le calcul mental; ce calcul mental a duré soixante-dix secondes, il est limité sur le tracé par les deux croix ; on voit que pendant le calcul mental la respiration est moins profonde et elle est un peu accélérée ; après le calcul mental la respiration devient plus profonde qu'à l'état normal. Le troisième tracé, pris avec la même vitesse de cylindre que le second, indique la respiration après une course de 300 mètres de vitesse moyenne. La respiration est bien plus ample et plus rapide qu'à l'état normal. Tous les trois tracés ont été enregistrés l'un à la suite de l'autre, avec les mêmes appareils restant en place; ils sont donc rigoureusement comparables.

« Au commencement le calcul était facile : je trouve 30 par 70 égal à 2 100, puis en retranchant 30 je trouve 2 070 ; ensuite je calcule sans grande difficulté 2 fois 69 = 138 ; c'est à ce moment qu'est survenue une certaine émotion, parce qu'il m'a semblé que j'avais oublié le premier produit partiel ; un effort est nécessaire pour le retrouver, et cette partie du calcul est la plus difficile. »

Le travail a duré soixante-dix secondes, au bout desquelles la solution a été indiquée, soit 2 208. Pendant ces soixante-dix secondes, la respiration a été modifiée, et il est facile de se rendre compte de cette modification en comparant la respiration avant, pendant et après le calcul mental. D'abord, la respiration a été accélérée, elle a été de 26 pendant ces soixante-dix secondes, ce qui fait environ 22 pour une minute, alors que la respiration calme de ce sujet est de 18. C'est une accélération analogue à celle que produit une course de vitesse. En outre, l'amplitude du mouvement respiratoire est bien réduite ; les inspirations deviennent beaucoup moins profondes. Sur le graphique, la réduction d'amplitude est de moitié, mais nous avons dit pour quelle raison il est impossible d'en conclure que l'ampliation de la poitrine a diminué dans la même proportion. Le tracé permet seulement d'affirmer que la respiration est devenue beaucoup plus surperficielle. Ce caractère est un de ceux qui distinguent le mieux les effets respiratoires du travail physique et ceux de l'activité intellectuelle. Toutes les fois qu'on fait un calcul mental, il y a une tendance à la suspension de la respiration, entrecoupée parfois par une inspiration profonde ; le thorax se meut beaucoup moins. Chez quelques personnes, la respiration peut devenir tellement superficielle qu'elle cesse presque de se marquer sur le tracé ; la figure 9 en est un exemple.

Enfin, après le calcul mental, le sujet précédent a eu une respiration augmentée.

La diminution d'amplitude de la respiration pendant le calcul mental a été signalée par Delabarre et Lehmann ;

l'un de nous, en collaboration avec Courtier, en a donné plusieurs exemples. Nous montrons dans la figure 63 un exemple de cette modification de la forme de la courbe respiratoire, qui a été le seul effet visible du calcul mental chez le sujet.

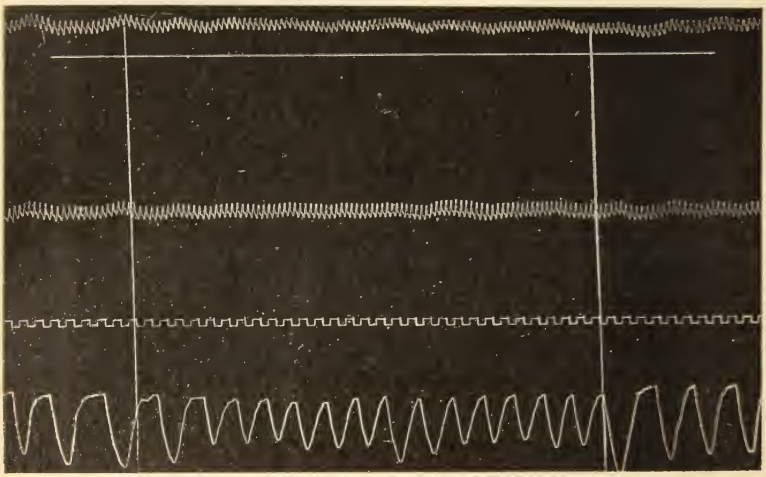

Fig. 63. — Modification du rythme respiratoire pendant le travail intellectuel. Expérience sur M. C... Multiplication mentale entre les deux verticales. La respiration, pendant l'effort intellectuel, devient plus rapide et plus superficielle ; la cage thoracique s'agrandit moins. Le tracé supérieur est celui de la circulation capillaire ; celui de dessous est celui du pouls radial ; ces deux tracés présentent des modifications à peine sensibles pendant le calcul mental.

On remarque encore, dans quelques tracés, que le travail intellectuel produit une modification du type respiratoire consistant dans une altération de la longueur ordinaire des périodes. L'expiration tend à se raccourcir et la durée de la pause post-expiratoire se raccourcit aussi. Cette modification ne se voit pas nettement sur la figure 62.

Dans un travail récent, très instructif, mais qui manque malheureusement de figures, un psychologue américain, Mac Dougall, a mesuré la durée des différentes périodes de l'acte respiratoire pendant le travail intellectuel et pendant

l'état de repos. Nous donnons ci-joint le tableau qui contient ces mesures :

SUJETS	INSPIRATION	PAUSE inspiratoire	EXPIRATION	PAUSE expiratoire.	DURÉE totale de la respiration.	PROFONDEUR
Etat de repos.						
A. . . .	0,72 sec.	0,22 sec.	1,39 sec.	1,35 sec.	3,68 sec.	29 mm.
B. . . .	0,76 —	0,31 —	1,24 —	1,12 —	3,43 —	34 —
C. . . .	0,67 —	0,40 —	1,17 —	1,35 —	3,59 —	20 —
D. . .	1,26 —	» —	1,89 —	1,98 —	5,13 —	81 —
E. . . .	0,67 —	0,49 —	0,85 —	1,11 —	3,12 —	15 —
Travail intellectuel.						
A. . . .	0,49 —	0,22 —	1,12 —	0,90 —	2,63 —	22 —
B. . . .	0,22 —	0,31 —	1,12 —	0,36 —	2,01 —	13 —
C. . . .	0,67 —	0,22 —	1,26 —	0,37 —	2,51 —	25 —
D. . . .	0,58 —	0,13 —	1,62 —	1,89 —	4,22 —	61 —
E. . . .	0,45 —	0,45 —	0,85 —	0,85 —	2,60 —	12 —

Les chiffres indiquent en fractions de seconde les durées de l'inspiration, de la pause qui sépare l'inspiration de l'air de son expiration, de l'expiration, de la pause après l'expiration, puis la durée totale d'une respiration et enfin la profondeur de la respiration en millimètres.

On voit donc nettement que la respiration s'accélère ; le raccourcissement porte sur toutes les phases de la respiration, mais c'est surtout l'inspiration et la pause après l'expiration qui deviennent plus courtes ; enfin la respiration devient plus superficielle.

Nous sommes obligés de faire un aveu d'ignorance en ce qui concerne les causes de l'accélération respiratoire dont nous venons de signaler la production sous l'influence d'un calcul mental. Les mouvements respiratoires subissent un grand nombre d'influences : 1° il y a d'abord l'influence nerveuse réflexe, dont le centre est dans la moelle allongée; le centre respiratoire peut être modifié

par le sang qui le traverse, par les sensations centripètes qui lui arrivent, ou par des influx nerveux provenant d'autres parties du névraxe; 2° la respiration est également influencée par la composition chimique du sang et des gaz qui y sont dissous ; 3° elle est chargée de réglementer la chaleur du corps ; 4° elle obéit à des actions psychiques volontaires et à des actions inconscientes. Il est fort difficile de faire la part de ces différents facteurs.

Quantité d'air utilisée par la respiration. — Pour déterminer l'état de la respiration d'un individu il ne suffit pas de connaître le nombre de ses mouvements respiratoires et sa courbe pneumographique, il faut encore savoir la quantité d'air expirée ou inspirée et puis déterminer la composition chimique des gaz expirés. Ces déterminations doivent être faites pour compléter les données que nous avons décrites précédemment.

Il n'existe pas encore d'étude sur l'influence que le travail intellectuel exerce sur la quantité d'air utilisée par la respiration ; mais pour montrer l'importance de ces déterminations nous donnerons quelques chiffres indiquant les variations de cette quantité sous l'influence d'autres conditions extérieures.

D'après Regnard, un homme de 160 centimètres de taille et de 60 kilogrammes de poids, faisant douze respirations par minute à l'état de repos, inspire pendant une minute 6 000 centimètres cubes.

D'après Vierordt, à chaque inspiration un adulte inspire 500 centimètres cubes.

Enfin, d'après Smith, un adulte inspire par minute :

Couché.	7.373	centimètres	cubes.
Assis.	8.733	—	—
Marchant avec une vitesse de 3,2 km. par heure.	13.091	—	—
Marchant avec une vitesse de 4,8 km.	16.844	—	—
Grand effort de course.	30.401	—	—
Sommeil	5.767	—	—

On voit que les variations sont très considérables ; l'avantage de cette méthode sur la méthode graphique, dans laquelle on inscrit la courbe pneumographique, est que ces chiffres ont une signification précise, tandis que les mesures du graphique n'ont qu'une valeur relative.

Composition chimique des gaz expirés. — L'air que l'on inspire se compose dans les cas normaux d'azote et d'oxygène ; la proportion en poids est 23 p. 100 d'oxygène et 77 p. 100 d'azote ; la proportion en volume est 20,96 p. 100 d'oxygène et 79 p. 100 d'azote.

La composition du gaz expiré à l'état de repos est en moyenne en volumes : 15,4 p. 100 d'oxygène, 79,3 p. 100 d'azote et 4,3 p. 100 d'acide carbonique ; la température de ce gaz est égale environ à 36°,3.

Cette composition des gaz expirés varie beaucoup suivant les conditions. Ainsi elle varie avec les heures de la journée ; voici quelques chiffres de Vierordt ; le tableau indique le volume d'une expiration, le volume des gaz expirés en une minute, le volume de l'acide carbonique expiré en une minute et enfin la proportion de l'acide carbonique :

Composition des gaz expirés à différentes heures de la journée.

HEURES	VOLUME d'une expiration en cm. c.	QUANTITÉ des gaz expirés en une minute cm. c.	QUANTITÉ d'acide carbonique par minute cm. c.	PROPORTION d'acide carbonique p. 100.
9 h. du matin . .	503	6.090	264	4,32
10	529	6.295	282	4,47
11	534	6.155	278	4,51
12	496	5.578	243	4,36
12 1/2 à 1 h. déjeuner				
1 h. après-midi. .	513	6.343	276	4,35
2	516	6.799	291	4,27
3	516	6.377	279	4,37
4	517	..179	265	4,21
5	521	6.096	252	4,13
6	496	5.789	238	4,12
7 h. après-midi. .	489	5.428	229	4,22

La composition des gaz est différente la nuit et le jour ; ainsi, d'après Pettenkofer et Voit, pendant un jour durant de 6 heures du matin à 6 heures du soir, un homme de vingt-huit ans et de 60 kilogrammes de poids a absorbé 234^{gr},6 d'oxygène et dégagé 532^{gr},9 d'acide carbonique ; pendant ce jour il n'a presque pas travaillé ; la nuit suivante, de 6 heures du soir à 6 heures du matin, il a absorbé 474^{gr},3 d'oxygène et a dégagé 378^{gr},6 d'acide carbonique.

Un autre jour, le même individu, en travaillant physiquement beaucoup pendant la journée, a absorbé 294^{gr},8 d'oxygène et dégagé 884^{gr},6 d'acide carbonique ; la nuit qui suivit ce jour, il a absorbé 659^{gr},7 d'oxygène et dégagé 391^{gr},6 d'acide carbonique.

On voit donc que le travail fait pendant le jour retentit non seulement sur la composition des gaz expirés pendant le jour, mais aussi sur ceux expirés pendant la nuit qui suit ce jour. C'est un résultat très important qui indique que l'état de repos après un travail n'est nullement identique à l'état de repos après une journée de repos. Il faudrait faire des expériences dans ce sens en cherchant l'influence produite par le travail intellectuel.

Quelques expériences partielles ont été faites pour déterminer l'influence d'un travail intellectuel sur la composition des gaz expirés. Liebermeister[1] a fait des expériences sur un médecin de quarante-deux ans, ayant 177 centimètres de taille, qui avait la faculté de pouvoir s'endormir à volonté à toutes les heures du jour ; les expériences étaient faites de 4 à 8 heures de l'après-midi, à deux jours différents.

Nous donnons dans le tableau suivant les occupations du sujet et la quantité d'acide carbonique expiré pendant ces occupations ; enfin dans la dernière colonne se trouvent la proportion d'acide carbonique expiré rapportée à une demi-heure :

[1] *Handbuch der Pathologie und Therapie des Fiebers.* 1872.

OCCUPATIONS	Acide carbonique dégagé.	Acide carbonique dégagé rapporté à une demi-heure.
	Grammes.	Grammes.
1/2 heure couché tranquillement .	15,62	15,6
1/4 — chant	10,41	20,8
1/4 — lecture.	9,33	18,7
1/2 — sommeil	12,35	12,3
1/2 heure sommeil	12,67	12,7
1/2 — —	12,30	12,3
1/4 — lecture	9,43	18,9
1/4 — chant	10,20	20,4
1/2 — couché tranquillement .	14,67	14,7

On voit que pendant le chant ou la lecture la quantité d'acide carbonique dégagé augmente sensiblement. Ce sont des résultats intéressants qui engagent à entreprendre de nouvelles recherches sur le même sujet.

Enfin Speck[1] a fait des expériences sur l'influence du travail intellectuel sur la composition des gaz expirés ; nous ne connaissons son travail que par une analyse et ne pouvons pas donner de détails ; il a trouvé que pendant une minute la quantité d'oxygène absorbé et d'acide carbonique dégagé étaient

	Oxygène absorbé.	Acide carbonique.
A l'état de repos	0,456 gr.	0,553 gr.
Pendant le travail intellectuel .	0,507 gr.	0,583 gr.

Il y a plus d'oxygène absorbé pendant le travail intellectuel et aussi plus d'acide carbonique dégagé qu'à l'état de repos.

Au point de vue pratique les expériences sur la composition chimique des gaz de la respiration sont très instructives pour le pédagogue. En effet, une des questions les plus importantes de l'hygiène est l'aération des classes ; or comment pouvoir régler une aération rationnelle si on ne

[1] *Arch. für experimentelle Pathologie und Pharmakologie*, vol. 15, 1882, p. 138.

sait pas les quantités d'acide carbonique dégagées après tel ou tel autre travail intellectuel ou physique ? On a dans les traités d'hygiène scolaire calculé la grandeur des classes, le nombre de mètres cubes d'air nécessaire pour un élève, la quantité de mètres cubes d'air qui doivent être échangés par la ventilation pendant une heure ; or pour tous ces calculs on s'est servi jusqu'ici des données expérimentales sur la composition chimique des gaz expirés à l'état de repos par des enfants d'âges différents. C'est là une erreur de méthode très grave ; nous avons montré précédemment que sous l'influence d'un travail intellectuel la composition des gaz de la respiration change notablement ; il faudrait refaire tous les calculs que l'on a faits dans les traités d'hygiène en prenant pour point de départ les données sur la composition chimique des gaz de la respiration, soit après un travail intellectuel, soit après un travail physique.

La question de l'aération des classes est très importante : en effet déjà la présence de 1 p. 1000 d'acide carbonique dans l'air est considérée en hygiène comme nuisible à l'organisme, et on cherche maintenant à construire les écoles de manière qu'après une heure de classe cette proportion ne dépasse pas 1 p. 1000 ; or, cette proportion très faible d'acide carbonique est rapidement atteinte lorsque la ventilation n'est pas suffisante. Nous donnons ci-après quelques chiffres que nous empruntons à des travaux d'hygiène scolaire suédoise[1], où ces questions sont mieux étudiées que dans d'autres pays.

Voici les résultats des calculs faits pour déterminer le nombre de mètres cubes d'air qui doivent être renouvelés par ventilation pour un seul élève pendant une heure, afin que la proportion d'acide carbonique de l'air de la classe ne dépasse pas 1 p. 1000 ; les calculs sont faits dans deux cas, lorsque la classe a une grandeur telle que pour chaque

[1] Axel Key. *Schulhygienische Untersuchungen*, 1886, p. 189.

élève il y a 5 mètres cubes d'air, et lorsqu'il y a 10 mètres cubes par élève. Dans la deuxième colonne se trouve indiqué après combien de minutes l'air de la classe contiendrait 1 p. 1000 d'acide carbonique s'il n'y avait pas de ventilation. Enfin, comme base de ces calculs, les auteurs suédois ont admis que les jeunes enfants dégagent chacun par heure 0^{mc},012 d'acide carbonique, les élèves plus âgés en dégagent 0^{mc},015, enfin les adultes 0^{mc},020

VOLUME d'air par élève.	JEUNES ENFANTS		ENFANTS AGÉS		ADULTES	
	Nombre de minutes pour atteindre 1 p. 1 000 d'acide carbonique.	Nombre de mètres cubes à renouveler par ventilation par élève.	Nombre de minutes pour atteindre 1 p. 1 000 d'acide carbonique.	Ventilation nécessaire par individu.	Nombre de minutes pour atteindre 1 p. 1 000 d'acide carbonique.	Ventilation nécessaire par individu.
Mètres cubes.	Minutes.	M. cubes.	Minutes.	M. cubes.	Minutes.	M. cubes.
5	15	19,6	12	24,8	9	33,2
10	30	16,0	24	22,4	18	32

On voit donc qu'il faut, chez les jeunes élèves, lorsqu'il y a 5 mètres cubes d'air par élève, renouveler par la ventilation pendant une heure 19^{mc},6 d'air pour chaque élève. Il est certain que si on prenait comme base des calculs précédents la composition des gaz expirés pendant un travail intellectuel ou physique, les résultats seraient différents. Or, lorsqu'on construit des écoles on se fonde sur des calculs pareils aux précédents, et ils sont, comme on le voit, insuffisants et ne répondent guère aux exigences.

Il est par conséquent très important pour l'hygiène scolaire de connaître la composition des gaz expirés pendant le travail intellectuel ou physique. Ces études ne pourront être faites que dans des écoles par des personnes compétentes ; elles prendraient très peu de temps et ne gêneraient en rien les classes ; les résultats que l'on pour-

rait obtenir seraient d'une application pratique immédiate, puisqu'on pourrait dire exactement la valeur de la ventilation nécessaire après telle ou telle leçon. Espérons que des recherches de ce genre seront bientôt entreprises dans les écoles.

CHAPITRE VI

INFLUENCE DU TRAVAIL INTELLECTUEL
SUR LA FORCE MUSCULAIRE

Jusqu'ici, aucun auteur n'a traité dans son ensemble cette grande question ; on ne trouve dans la littérature que des études partielles, portant seulement sur une certaine forme du travail intellectuel ou sur un certain aspect de la force musculaire, et c'est bien à tort que des pédagogues et des physiologistes se sont hâtés de fonder sur ces études incomplètes des conclusions générales.

Le système neuro-musculaire dépense son activité sous deux formes qui sont profondément distinctes ; il y a d'abord l'activité volontaire et consciente, il y a ensuite l'activité réflexe, inconsciente, involontaire, automatique. Cette première distinction doit être introduite dans notre étude, et il faut envisager à part les effets du travail intellectuel sur l'activité volontaire et sur l'activité réflexe.

Le travail intellectuel aussi, nous l'avons remarqué souvent, présente plusieurs différences de degré et de nature. L'effort intellectuel court ne se confond pas avec le travail prolongé pendant toute une après-midi ou toute une semaine, et il faut aussi distinguer de ce travail intellectuel prolongé l'état psycho-physiologique stable qui se crée chez un individu adonné pendant toute sa vie aux travaux intellectuels. Cette dernière question présente un intérêt philosophique évident, puisqu'elle revient à se

demander dans quelle mesure le développement de l'intelligence peut se concilier avec le développement des forces physiques.

Bien que nous soyons loin de pouvoir traiter à l'heure actuelle tous les points de ce vaste programme, il nous a paru bon de l'esquisser, à titre de suggestion pour des investigations nouvelles.

Influence du travail intellectuel sur l'activité automatique du système neuro-musculaire. — Les documents concernant cette question sont très peu nombreux. On s'est borné jusqu'ici à observer quelques-uns des effets produits par un travail intellectuel court, une lecture, un calcul mental, ou aussi une idée fixe. De ces études incomplètes est sortie la conclusion que tout effort d'esprit agit sur les muscles, que tout phénomène psychologique produit un état moteur particulier, auquel participe l'organisme entier. Sur ce thème on a joué un nombre infini de variations. Il faut rattacher à cet ordre d'idées une théorie nouvelle de l'attention, qui a été surtout exposée en France par Th. Ribot : la nature motrice de l'attention. Cet auteur soutient que l'attention, non seulement agit sur des muscles, ceux de la respiration, par exemple, ou du sourcil, mais encore qu'elle est un mécanisme moteur, qu'elle *consiste* dans une coordination de muscles. On est bien étonné de lire des affirmations aussi absolues ; et on cherche en vain sur quelles preuves elles s'appuient.

Malgré ce manque de preuves précises, la théorie de Th. Ribot a été acceptée, en France du moins, par un grand nombre de pédagogues et de médecins ; on voit citer cette théorie comme une théorie démontrée, basée sur des faits précis. Nous ne nous arrêterons pas sur des discussions de théorie, notre but est de rapporter les faits acquis qui doivent être admis par tout le monde, quelle que soit la théorie que l'on partage, et ce n'est qu'après avoir décrit ces faits d'observation précise que l'on devrait chercher à

en déduire des théories et des explications sur les effets de l'attention.

Les recherches de laboratoire faites sur des adultes sont celles qui doivent nous inspirer le plus de confiance ; il faut les faire passer avant les recherches sur des malades, et surtout avant les recherches sur les hystériques.

Un auteur allemand, Heinrich[1], a étudié l'influence produite sur les muscles de l'œil par la fixation de l'attention sur des impressions sensorielles et par un calcul mental. Ce sont surtout les variations de la largeur de la pupille et du degré d'accommodation du cristallin que l'auteur a étudiées ; on mesurait la grandeur de la pupille et le rayon du cristallin au moyen d'un ophtalmomètre. Comme la grandeur de la pupille varié beaucoup avec l'éclairage, il fallait rendre celui-ci aussi constant que possible. Les expériences étaient faites dans une chambre noire, dont on réglait l'éclairage avec un volet qu'on ouvrait plus ou moins. Le sujet arrivait toujours à la même heure, on lui bandait l'œil droit et on fixait sa tête pour éviter tous les déplacements. Les observations étaient toutes faites sur l'œil gauche seulement.

Le sujet devait porter son attention soit sur un point fixé devant lui, soit sur un objet éclairé qui lui était présenté dans la vision indirecte sous un angle plus ou moins grand, soit enfin sur des calculs qu'il devait faire mentalement. Pendant tous ces actes, il devait fixer un certain point placé devant lui. Les objets que l'on présentait dans la vision indirecte étaient des lettres écrites sur des cartons carrés blancs de 2 à 4 centimètres de côté ; on les présentait du côté temporal à une certaine distance de l'œil.

Les expériences ont montré que la pupille s'élargit lorsqu'on porte son attention sur un objet situé dans la vision indirecte, et elle s'élargit encore plus lorsqu'on fait un calcul mental. Voici quelques chiffres recueillis :

[1] Heinrich. *Die Aufmerksamkeit und die Funktion der Sinnesorgane.* Zeitschr. für Psychologie u. Physiol. d. Sinnesorg., vol. IX et XI.

	FIXATION centrale.	OBJET sous un angle de 50°.	OBJET sous un angle de 60°.	OBJET sous un angle de 70°.	CALCUL mental.
Diamètre de la pupille.	Millimètres. 3,14	Millimètres. 3,69	Millimètres. 4,12	Millimètres. 3,32	Millimètres. 4,39

Quelques expériences faites par Mentz sur le diamètre de la pupille ont aussi montré que pendant un travail mental la pupille s'élargit.

Cet élargissement de la pupille n'est pas le seul changement qui se produit dans les muscles de l'œil pendant un calcul mental. En effet, les expériences de Heinrich, dans lesquelles il a déterminé le rayon de courbure du cristallin, ont montré que la courbure diminue lorsque l'on fixe l'attention sur un objet dans la vision indirecte, et elle diminue encore plus lorsque l'on fait un calcul mental ; cette diminution de courbure du cristallin pendant le calcul mental est très forte et supérieure à celle produite par la vision d'un point très éloigné, ce qui est la diminution la plus forte qui puisse être donnée dans l'acte de la vision.

Voici quelques chiffres qui indiquent les valeurs du rayon de courbure du cristallin en millimètres :

CONDITIONS D'EXPÉRIENCE	RAYON
Le sujet fixe un point à une distance de 32cm,2. .	10,69 millim.
En fixant ce point, le sujet porte son attention sur un objet sous un angle de 40°	12,34 —
En fixant ce point, le sujet porte son attention sur un objet sous un angle de 70°	12,04 —
En fixant ce point, le sujet fait du calcul mental.	12,10 —
Le sujet fixe un point à une distance de 15 mètres	17,06 —
Le sujet fixe un point à une distance de 384 centimètres	15,48 —
Calcul mental pendant la fixation du point à 384 centimètres.	19,10 —

Enfin l'auteur a aussi observé l'état de convergence des yeux et il trouve que pendant le calcul mental les yeux tendent vers la position parallèle et divergent même quelquefois.

En somme, l'examen de l'œil pendant un travail intellectuel court a montré qu'il se produit des effets de relâchement musculaire dans tous les muscles de l'œil ; ainsi la pupille s'élargit, le cristallin s'aplatit et les yeux tendent vers une position divergente. Ce sont précisément des phénomènes inverses de ceux de l'accommodation.

Des résultats analogues aux précédents ont été obtenus par Mac Dougall[1] pour les muscles des doigts ; cet auteur a trouvé que pendant le calcul mental, les doigts qui sont un peu courbés avant le calcul se détendent légèrement, il semble qu'il y ait aussi un relâchement pour les muscles des doigts.

Un autre genre d'influence produite par la fixation de l'attention sur le système musculaire est la production de mouvements très faibles des membres et surtout des mains ; par exemple, lorsqu'on porte son attention sur un objet qui se déplace, on a une tendance à faire des mouvements avec la main ; ces mouvements inconscients ont été étudiés par quelques auteurs américains ; nous ne nous y arrêtons pas, puisque cette question sort du cadre de notre étude.

A ces questions, on pourrait rattacher aussi beaucoup d'études faites sur des malades, des hystériques, des individus nerveux et d'autres encore : ces études ont montré que certaines personnes, quand elles ont une idée dans l'esprit, ne peuvent pas s'empêcher de la traduire inconsciemment par des gestes, des mouvements, des attitudes ; et il arrive parfois qu'un expérimentateur adroit et bien dressé devine, à certains gestes ou seulement à certains mouvements fibrillaires de la main, ce que pense une

[1] *Psychological Review*, mars 1896, p. 158.

personne. Tout ceci appartient à l'histoire des mouvements inconscients, qui comprend la divination de pensée, le cumberlandisme, les tables tournantes et une bonne partie du spiritisme et de l'hystérie ; mais nous pensons que ces phénomènes s'éloignent un peu de ceux que nous étudions ici, puisqu'ils ne sont pas produits par un vrai travail intellectuel, mais par une idée obsédante, et qu'ils n'ont aucun rapport avec la pédagogie. On peut leur donner le nom de *mouvements expressifs*, car ils expriment la nature de l'idée qui possède un individu.

Influence du travail intellectuel sur l'activité volontaire du système neuro-musculaire. — Disons d'abord par quels procédés on mesure ordinairement la force musculaire d'une personne. L'instrument de mesure le plus connu est assez ancien : c'est le dynamomètre. Il est composé d'une ellipse en acier bien trempé ; on place l'ellipse dans la paume de la main, on l'entoure de ses doigts, et on serre

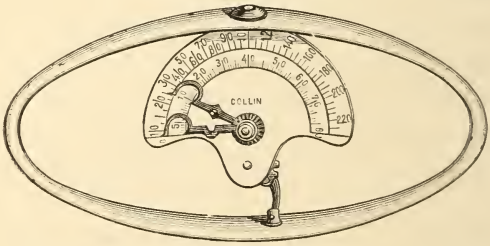

Fig. 64. — Dynamomètre communément employé pour mesurer la force des muscles fléchisseurs de la main.

de toutes ses forces, progressivement, sans à-coup ; une aiguille, courant sur un courant gradué qui est fixé à l'ellipse, indique dans quelle mesure on a rapproché, par l'effort de pression, les deux branches du dynamomètre. L'instrument permet d'évaluer la force des fléchisseurs des doigts, et cette évaluation est indiquée sur le cadran en kilos.

On peut aussi employer cet instrument à mesurer la force

d'autres groupes musculaires. On le fixe avec une chaîne à un arbre, ou à un poteau, par exemple, et on tire sur une autre chaîne terminée par une poignée et fixée également au dynamomètre, ce qui donne la force de traction transversale. En fixant le dynamomètre au sol, on peut mesurer de la même manière la force de traction verticale, ou force rénale.

Le dynamomètre présente de grands avantages, mais il renferme plusieurs causes d'erreur ; la principale est l'inhabileté des personnes qui s'en servent. Il faut veiller à ce que le sujet presse sur le dynamomètre avec la deuxième phalange des doigts, et non avec la première ou la troisième phalange. Des expériences nombreuses nous ont montré que c'est avec la deuxième phalange que l'on produit le maximum d'effort.

La force musculaire de pression progresse avec l'âge ; voici quelques chiffres qui indiquent cette progression ; ce sont des kilos, mais il ne faut pas y attacher grande importance ; quoique certains dynamomètres aient été étalonnés avec grand soin, leur échelle doit être considérée comme conventionnelle ; on ne doit donc tenir compte que des relations entre les différents nombres.

Nous donnons dans le tableau suivant les nombres obtenus par Gilbert sur la force dynamométrique du poignet chez les garçons et les filles[1].

Tableau de Gilbert. Force dynamométrique du poignet.

AGES	GARÇONS	FILLES	AGES	GARÇONS	FILLES
	Kilogr.	Kilogr.		Kilogr.	Kilogr.
6 ans.	4,5	4,0	13 ans.	13,0	10,0
7 —	6,2	5,0	14 —	14,1	10,6
8 —	7,0	6,0	15 —	18,7	11,8
9 —	8,1	6,0	16 —	22,0	12,4
10 —	9,8	7,5	17 —	25,3	12,8
11 —	10,3	8,0	18 —	25,3	14,0
12 —	12,0	8,1	19 —	27,0	14,0

1 *Studies in Psychology. Univers. of Iowa*, 1897, p. 1-40.

On voit que les filles sont plus faibles que les garçons ; la différence est petite jusqu'à onze ans, et elle croît de plus en plus à partir de cet âge.

Pour un adulte, la force moyenne de pression de la main droite varie de 30 à 40 kilos, et la main gauche est généralement inférieure de 5 kilos à la main droite. Ces chiffres peuvent servir à savoir si une personne est supérieure, inférieure ou égale à la moyenne des individus, au point de vue de la force musculaire de la main.

La force de flexion de la main ne peut pas être considérée, sans autre examen, comme mesurant la force musculaire du corps tout entier ; ce serait supposer qu'il existe un rapport harmonieux entre tous les muscles, ce qui n'est pas vrai. On doit compléter l'exploration des forces de la main par celle d'une autre partie du corps, par exemple la force de traction verticale, dans laquelle intervient l'énergie des masses musculaires du dos. Voici quelques chiffres relatifs à la force de traction verticale.

Force de traction verticale, d'après Gilbert.

AGES	GARÇONS	FILLES	AGES	GARÇONS	FILLES
	Kilogr.	Kilogr.		Kilogr.	Kilogr.
6 ans.	33,8	25,4	13 ans.	94,3	69,8
7 —	42,2	32,2	14 —	107,1	76,2
8 —	51,7	36,3	15 —	130,1	81,6
9 —	58,9	45,8	16 —	138,4	78,4
10 —	68,5	44,5	17 —	158,9	81,2
11 —	78,0	52,2	18 —	171,9	82,6
12 —	85,7	58,5	19 —	171,9	88,4

Ici comme précédemment on voit que la différence entre les garçons et les filles devient forte seulement après l'âge de dix ans ; de plus, la force des garçons augmente continuellement jusqu'à l'âge de dix-huit ans, tandis que, pour les filles, elle n'augmente que jusqu'à l'âge de quatorze à quinze ans et reste stationnaire ensuite.

Le dynamomètre donne l'énergie musculaire momentanée. En physiologie, et aussi dans le langage courant, on distingue deux espèces d'épreuve : celles de force et celles de fond. Ces dernières expriment la durée maxima de l'effort, l'endurance, la résistance à la fatigue, toutes qualités qui sont bien distinctes de l'énergie de l'effort momentané. Pour étudier l'endurance, on peut employer aussi le dynamomètre : seulement, au lieu de faire presser l'instrument une seule fois, on demande au sujet une série de pressions, dix par exemple de chaque main, en faisant alterner chaque fois. Il existe un instrument qui a été spécialement inventé pour mesurer l'endurance, c'est l'*ergographe* [1]. Cet instrument, dû à Mosso, a l'avantage de faire travailler isolément une petite partie du corps, un groupe restreint de muscles, ceux d'un seul doigt ; à ce doigt est attachée une corde qui sert à soulever un poids ; à chaque flexion, on soulève le poids. L'ergographe se compose de deux parties : l'une qui sert de support à la main, l'autre

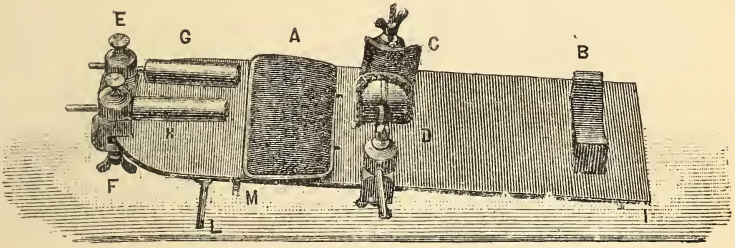

Fig. 65. — Support de l'ergographe de Mosso. La main et le bras du sujet sont placés dans une position intermédiaire entre la pronation et la supination ; l'avant-bras est fixé par les coussinets mobiles C et D, le dos de la main repose sur le coussin fixe A ; le sujet enfonce l'index et l'annulaire dans les tubes G et K, de sorte que le médius peut se mouvoir librement dans l'intervalle entre les deux tubes G et K.

qui inscrit les flexions du doigt. Le support est une plaque de fonte sur laquelle sont fixés deux coussinets destinés à

[1] *Arch. ital. de Biologie*, XIII, 180, p. 125.

recevoir le poignet de la main (A) et l'avant-bras (B). Deux autres coussinets, qui sont mobiles (C et D), embrassent le poignet et l'immobilisent. Enfin, à la partie antérieure du support, sont fixés deux tubes de cuivre (G, H), dans lesquels on enfonce l'index et l'annulaire de la main ; le médius, avec lequel on travaille, reste libre. Ces tubes de cuivre peuvent être avancés ou reculés ; ils contiennent

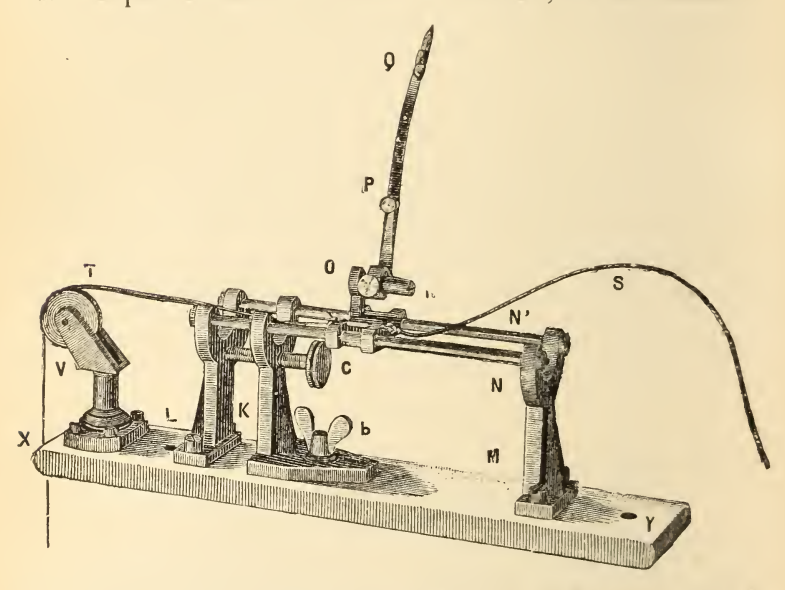

Fig. 66. — Curseur enregistreur de l'ergographe de Mosso. La corde S est attachée à la 3e phalange du médius ; à la corde T est suspendu le poids. La plume PQ écrit sur un cylindre tournant.

dans leur intérieur une plaque mobile servant de point d'appui au bout des doigts. La plaque de fonte servant de support est un peu oblique, pour que la main et le bras du sujet soient dans une position intermédiaire à la pronation et à la supination. Cette position est la moins fatigante de toutes.

La seconde partie de l'appareil est le curseur enregistreur. Il se compose d'une plate-forme XY sur laquelle sont montées deux colonnettes ML qui portent deux tringles d'acier

NN′ ; sur celles-ci glisse un curseur métallique ORPQ, qui porte la plume pour inscrire les mouvements du doigt. Le curseur est relié par des crochets à deux cordes ; l'une S est attachée au médius ; l'autre T, après s'être réfléchie sur une poulie, se termine par le poids à soulever.

Le poids qu'on attache est de 2, 3 ou 5 kilogrammes. On comprend tout de suite que le doigt, en se fléchissant, tire sur la corde et soulève le poids, et que le curseur qui se trouve sur le trajet est déplacé sur les tringles de cuivre ; la longueur de son parcours est égale à la longueur de l'ascension du poids ; par conséquent, si on connaît le poids soulevé et si, d'autre part, on mesure le chemin parcouru, on peut évaluer en kilogrammètres le travail mécanique exécuté par le doigt en se fléchissant.

Le curseur écrit son déplacement sur un cylindre tournant très lentement ; la longueur des lignes des tracés est égale à la longueur de l'ascension du poids. On fait l'expérience en suivant les battements d'un métronome réglé pour battre un coup chaque deux secondes. On fléchit le doigt chaque deux secondes en soulevant le poids, puis on le laisse retomber ; les tracés successifs s'inscrivent en lignes droites les uns à côté des autres sur le cylindre qui tourne très lentement. On continue à soulever le poids jusqu'à ce qu'on soit immobilisé par la fatigue, ce qui arrive plus ou moins vite suivant les individus.

Nous donnons deux tracés, pris, l'un sur une femme, l'autre sur un homme, tous deux jeunes gens de vingt-quatre ans ; on voit qu'à mesure que les flexions se répètent, le poids est soulevé à une hauteur moindre ; la fatigue qui succède à des efforts intenses produit une incapacité de faire des flexions vigoureuses. Les deux personnes se se sont fatiguées d'une manière différente : chez l'une, la fatigue s'est fait sentir presque dès le début, mais elle a été légère ; chez l'autre, la fatigue a été plus tardive et aussi plus brusque. Mosso a donné à ces courbes les noms de *courbe de fatigue* ou de *courbe d'épuisement*. Il assure

que la courbe d'un individu est à peu près constante d'un jour à l'autre, et même à plusieurs années d'intervalle.

On mesure le travail du doigt à l'ergographe comme on mesure un travail mécanique, en multipliant la longueur par le poids. Dans la première figure, le poids était égal

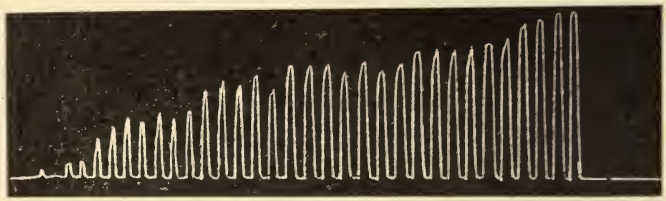

Fig. 67. — Courbe ergographique donnée par un homme; le poids est de 4 512 grammes ; il est soulevé par le médius de la main gauche. Le tracé se lit de droite à gauche.

à 4 512 grammes, la somme de hauteurs de soulèvement est de 426 millimètres, donc le travail mécanique calculé en kilogrammètres est égal à 1 922 kilogrammètres. Dans

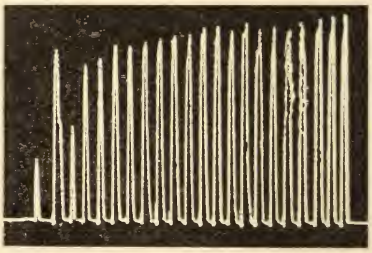

Fig. 68. — Courbe ergographique donnée par une femme ; le poids est de 3 535 grammes ; il est soulevé par le médius de la main gauche. Le tracé se lit de droite à gauche.

le second tracé le poids est égal à 3 535 grammes, la somme des hauteurs à 539 millimètres, donc le travail à 1 805 kilogrammètres.

Nous pensons qu'on peut faire quelques critiques à ce calcul. Pour l'admettre, il faudrait admettre aussi que le premier centimètre parcouru par le poids est équivalent comme travail au troisième centimètre, et qu'en d'autres

termes un sujet qui avec le doigt fléchi soulèverait 100 fois un poids à 25 millimètres ferait le même travail physiologique que s'il le soulevait 50 fois à 50 millimètres. C'est possible; mais ce n'est pas prouvé.

On peut faire une seconde objection au principe même de l'ergographe. Le poids à soulever reste le même d'un bout à l'autre de l'expérience; c'est par exemple 5 kilos, poids qu'on choisit habituellement pour un adulte. Or, aux premières flexions, ce poids est insuffisant pour certains individus, qui pourraient soulever un poids plus lourd; d'autre part, quand la fatigue arrive et que le sujet ne peut plus soulever seulement d'un millimètre le poids de 5 kilos, il pourrait cependant donner encore un travail mécanique considérable si on allégeait le poids ; ce sujet n'est pas, comme on le dit toujours, complètement épuisé.

Enfin, pour terminer, nous remarquerons que l'ergographe présente une imperfection de détail qui, pratiquement, peut avoir des conséquences graves. Le doigt qui travaille n'est pas suffisamment isolé. Au début, on se contente de fléchir le médius et on fait l'expérience correctement; mais bientôt, quand la fatigue se fait sentir, on opère des tractions avec le poignet et tout le bras. Cette cause d'erreur peut être évitée par des sujets adultes qui savent s'observer; mais dans des expériences faites sur des élèves d'écoles et de lycées, il serait chimérique de compter sur cette auto-surveillance. Nous avons eu l'occasion de faire des recherches ergographiques sur une centaine d'élèves dans les écoles [1], et très rapidement nous nous sommes aperçus que l'ergographe de Mosso encourage la fraude. Nous y avons obvié en fixant le médius dans un tube formé de deux parties, dont l'une est fixe, dont l'autre est mobile autour de la première, de façon à imiter l'articulation du doigt. Ce dispositif, sans être parfait, évite plusieurs causes d'erreur (fig. 69).

[1] Ces expériences, faites avec M. Vaschide, seront bientôt publiées.

Dernièrement, nous (Binet et Vaschide) avons fait construire (chez Collin, à Paris) un ergographe à ressort, pour éviter les inconvénients produits par la constance du poids à soulever.

Après cette description des appareils, passons aux observations et expériences qui ont été faites. Nous trou-

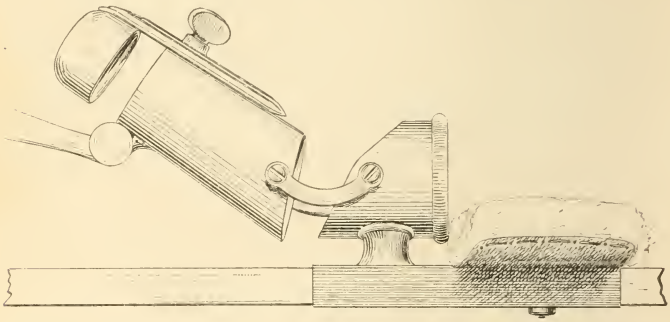

Fig. 69. — Dispositif employé pour fixer le médius et pour rendre les flexions du médius plus uniformes.

vons ici, comme pour les recherches précédentes, le travail intellectuel court, qui se distingue à peine d'une fixation de distinguer l'attention, et le travail intellectuel prolongé.

Travail intellectuel court. — Les recherches n'ont pas porté précisément sur ce point particulier, mais sur des points voisins. On a surtout recherché quel est l'effet des excitations des sens sur la force volontaire, et c'est tout à fait secondairement qu'on rapproche des excitations des sens l'effort d'attention et le travail intellectuel proprement dit.

En outre, les observations qui ont été prises l'ont été sans cette méthode, ce soin de la répétition, cette minutie qui caractérisent les recherches de laboratoire. Aussi les resultats que nous allons résumer présentent-ils quelque incertitude.

La force musculaire que nous pouvons dépenser au dyna-

momètre est caractéristique pour chacun de nous; chacun de nous donne un chiffre moyen de pression; mais ce chiffre varie légèrement sous l'influence de plusieurs circonstances; par exemple l'heure de la journée a de l'importance; si on explore la force d'un individu à différentes heures de la journée, on trouve qu'elle varie assez régulièrement, et des physiologistes (Patrizi, Lombard) ont pu dessiner la courbe journalière de la force musculaire. L'état momentané de repos et de fatigue, la disposition morale, la présence de tel ou tel témoin — surtout d'un témoin de sexe différent — peuvent soit augmenter, soit diminuer le chiffre moyen de pression. Chez certains malades, chez les hystériques, il a été constaté à maintes reprises par Féré qu'une excitation brusque des sens peut doubler momentanément la force musculaire de pression. Ainsi, une hystérique donnait 30 kilogrammes au dynamomètre; si on approchait de ses narines un flacon de musc, en la priant de serrer le dynamomètre pendant qu'elle sentait l'odeur, elle donnait une pression de 50 kilogrammes. Sur des sujets analogues, on a pu voir que toutes les excitations des sens, à la condition d'être courtes et intenses, provoquent cette augmentation temporaire de la force musculaire. On a aussi observé que chez des personnes non hystériques on peut provoquer des réactions analogues.

Féré écrit[1] : « Sous l'influence du travail intellectuel, la force dynamométrique augmente, et dans des proportions d'un sixième, d'un cinquième, d'un quart même, suivant que l'attention a été fixée d'une façon plus ou moins soutenue. Dans un bon nombre d'explorations, j'ai noté une tendance à l'égalisation entre les deux mains, c'est-à-dire que la main gauche, qui est plus faible que la droite de 10 kilogrammes environ, gagne souvent plus que la droite sous l'influence de l'excitation psychique provoquée par le travail intellectuel. Cette exagération de l'énergie est du

[1] *Sensation et mouvement*, p. 7.

reste momentanée ; elle cesse en général quelques minutes après la cessation de l'excitation provoquée. Ces expériences... montrent que l'*exercice momentané de l'intelligence provoque une exagération momentanée de l'énergie des mouvements volontaires.* »

Cette intéressante conclusion devrait engager les auteurs à reprendre en détail l'étude de la question.

Il semble que rien n'est plus simple que de savoir si une influence quelconque augmente ou diminue la force musculaire : on fait presser le dynamomètre, puis on fait agir l'excitation, puis on fait presser de nouveau le dynamomètre. Sans doute, ce procédé expéditif est suffisant pour les cas où l'excitation produit une augmentation énorme de la force musculaire ; mais l'augmentation énorme ne se manifeste guère que chez les hystériques, qui à la première épreuve n'ont pas donné leur maximum de force. Chez le sujet normal, il est bien rare de provoquer, par quelque moyen que ce soit, des augmentations de force musculaire égales à 30 kilogrammes. Nous n'en connaissons pas d'exemple. Le plus souvent, ce sont des modifications légères et difficiles à observer parce qu'elles ne sortent guère des limites des causes d'erreur. Voici par exemple une de ces causes d'erreur, qu'il est utile de signaler. Dernièrement, nous avons fait avec M. Vaschide des explorations dynamométriques sur 42 jeunes gens de seize à dix-huit ans, élèves-maîtres dans une école normale d'instituteurs. Chacun d'eux a pressé vingt fois le dynamomètre, dix fois de chaque main, les deux mains alternant ; c'était pour la première fois qu'ils se servaient de l'instrument. Nous avons fait la moyenne de chaque épreuve et obtenu ainsi une courbe représentant le développement de la force musculaire pendant cette expérience de vingt pressions. Or, nous voyons que pour la main droite la première partie de la courbe est en ascension, ce qui veut dire que les premières pressions vont en augmentant. Si on avait intercalé un travail intellectuel ou une excitation des sens

entre les premières pressions, on aurait cru pouvoir en conclure que c'étaient ces facteurs qui avaient déterminé une augmentation de force musculaire, et c'eût été une erreur.

Il est évident que pour voir clair dans ces questions, on doit commencer par déterminer, au moyen d'expériences nombreuses, la courbe typique de développement de la force musculaire pendant une série de pressions, et on n'arrive à cette courbe qu'après avoir supprimé les effets de l'exercice et aussi de l'émotivité. Voici à peu près comment on devrait procéder. Il faudrait d'abord, première condition, opérer sur de grands nombres, au moins sur 100 sujets, car un fait n'est vrai que s'il se répète sur beaucoup d'individus. On prendrait à part chacun de ces 100 sujets, et on leur ferait donner vingt pressions espacées par trois à cinq minutes de repos. Quelques jours après, on reprendrait l'expérience; on dresserait la courbe de la deuxième journée, on la comparerait à celle de la première journée. On laisserait passer encore plusieurs jours, on reprendrait ensuite l'expérience, on dresserait la troisième courbe. Enfin, dans une quatrième séance, on introduirait une variante, on intercalerait du calcul mental entre chaque pression; puis on tracerait encore une fois la courbe de la force musculaire. On aurait ainsi recueilli quatre courbes; il resterait à les comparer, pour savoir si elles diffèrent et si la différence produite par le travail intellectuel est de même nature et de même degré que les variations des courbes normales, sans travail intellectuel, prises dans des conditions identiques. C'est une recherche que nous nous proposons de faire.

Travail intellectuel prolongé. — Nous pouvons renouveler ici les objections que nous venons de formuler plus haut. Il n'existe point de recherches méthodiques sur les effets du travail intellectuel prolongé sur la force musculaire. Nous ne possédons encore que des observations

individuelles, et avec quelque soin qu'elles aient été recueillies, elles ne suffisent vraiment pas pour établir des règles générales.

Les recherches dont le récit va suivre ont toutes été faites avec l'ergographe de Mosso; cet ergographe, qui, sauf quelques erreurs de détail signalées plus haut, est un très bon instrument, a été adopté dans beaucoup de laboratoires de physiologie, et on l'a employé à beaucoup de recherches diverses : étude comparée de la force musculaire dans les deux mains, influence de la marche, du vin, du lait, du thé, du café, des poisons, des extraits d'organe sur la force musculaire, etc., etc. En ce qui concerne le travail intellectuel, les documents sont beaucoup moins nombreux. Ils ont été recueillis en majorité par Mosso. Nous lui devons trois observations principales :

La première, la plus curieuse, a été publiée dans le mémoire original où l'ergographe est décrit pour la première fois. Elle est décrite sous ce titre : *Influence de la fatigue psychique sur la force des muscles*. Le sujet est le docteur Maggiora[1], professeur d'hygiène à l'Université de Turin ; la fatigue psychique qu'il éprouvait résultait des examens qu'il faisait passer aux élèves de l'Université [1].

Les tracés que nous publions abrégeront notre description. Le tracé 1 (fig. 70) est donné avant les examens, le doigt soulevait un poids de 2 kilogrammes. Il y a eu cinquante-cinq contractions.

« A 2 heures, commencent les examens. Le docteur Maggiora en fait subir onze, ce qui constitue un travail intense, durant trois heures et demie et sans intervalle de repos. De plus, outre la fatigue résultant de l'obligation où il était d'interroger et de diriger l'examen, il y avait aussi l'émotion de sentir la responsabilité de son propre enseignement en présence de collègues compétents qui assis-

[1] *Arch. ital. de biologie*, XIII, 1890, p. 153.

taient comme membres de la Commission examinatrice et qui pouvaient le juger. »

Après l'examen, Maggiora inscrit le tracé de la figure 70, qui montre un grand affaiblissement de la force musculaire ; la première contraction et la seconde sont encore très fortes ; la seconde est même plus forte que la seconde d'avant l'examen ; mais la force décroît rapidement.

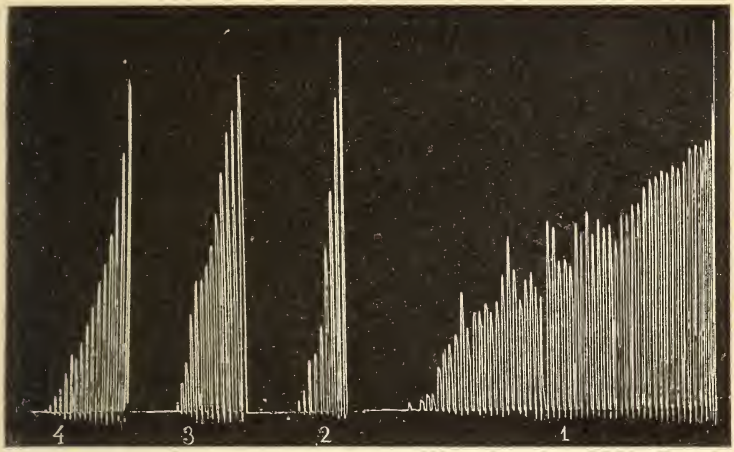

Fig. 70. — Tracés ergographiques de Maggiora. Le tracé 1 est donné à l'état de repos. Le tracé 2 est pris à 5 h. 45 du soir, après avoir fait subir des examens depuis trois heures. Le tracé est pris à 7 heures et demie, enfin le tracé 4 est pris à 9 heures du soir. Ces courbes indiquent l'influence du travail intellectuel prolongé sur la force musculaire volontaire.

Ce qui nous semble surtout diminué, ce n'est pas la force du premier effort, c'est la qualité d'endurance. A bien regarder ce tracé 2 de la figure, on a la conviction qu'il réunit deux états moteurs différents, une surexcitation de l'effort momentané, surexcitation qui est très courte, et une diminution de l'effort continué. A 7 heures du soir, on prend le tracé 3, qui a les mêmes caractères que le précédent, et à 9 heures on prend le tracé 4, qui est analogue.

En constatant cette diminution considérable de la force musculaire à la suite d'un travail du cerveau, on pourrait penser que la fatigue est centrale et dépend de l'état des centres moteurs du cerveau. Mais Mosso a montré que la question est beaucoup plus complexe, et que les muscles, excités directement par l'électricité, donnent moins de travail ergographique après le travail intellectuel qu'avant.

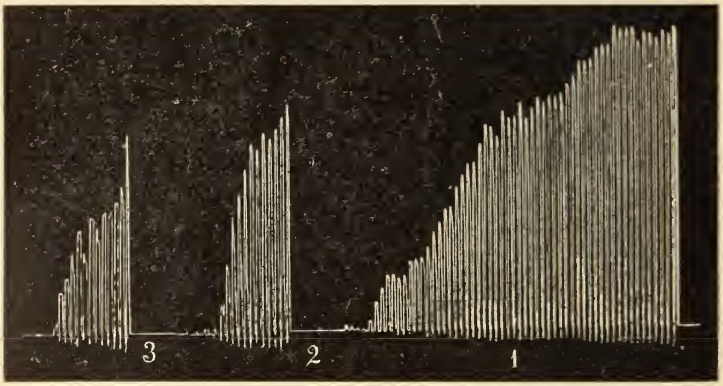

Fig. 71. — Courbes ergographiques de Maggiora obtenues en faisant soulever au médius un poids de 500 grammes par l'excitation électrique des muscles. Le tracé 1 est obtenu à 9 heures du matin. De 2 heures à 5 heures et demie de l'après-midi, Maggiora faisait passer des examens; le tracé 2 est pris à 5 heures et demie et enfin le tracé 3 à 7 heures du soir. On voit que sous l'influence du travail intellectuel les muscles eux-mêmes se fatiguent considérablement.

La figure 71 a été obtenue en faisant tenir à un doigt de la main gauche (Maggiora) un poids de 500 grammes, et en appliquant le courant induit de l'appareil de Du Bois-Reymond sur les muscles fléchisseurs des doigts. En 1, tracé obtenu à 9 heures du matin, avant l'examen. Depuis 2 heures de l'après-midi et jusqu'à 5 heures et demie, le docteur Maggiora interroge onze élèves. A 5 heures et demie, on inscrit le deuxième tracé de la figure. Ici encore nous voyons que la force des muscles est diminuée; au lieu de cinquante-deux contractions qu'il faisait le matin.

le docteur Maggiora n'en fait plus que douze après les examens. La fatigue n'est donc pas simplement centrale, elle a gagné les nerfs moteurs et les muscles. Ajoutons à cette description une remarque qui a, semble-t-il, échappé à Mosso. Nous ne trouvons pas dans la figure 71 la surexcitation courte qu'on pouvait observer, dans la figure 70, après le surmenage; le deuxième tracé de la figure 71 est dans toutes ses parties moins haut que le premier tracé de la même figure. Ceci donnerait à penser — si le fait était constant, ce qui est à voir — que la surexcitation de l'effort momentané, après le travail cérébral, dépend des centres moteurs du système nerveux et n'appartient pas aux muscles.

En rapportant les observations précédentes, Mosso dit que les recherches analogues faites sur lui-même ne donnèrent pas des résultats aussi évidents que chez Maggiora, bien que chez lui aussi on vît une diminution de la force après les examens. Il est cependant regrettable que Mosso n'ait pas reproduit ses propres tracés. Il nous semble que ce qu'il importe de connaître, ce ne sont pas des résultats exceptionnellement brillants, mais des résultats moyens, qui s'appliquent à la grande majorité des individus.

Dans les tracés de Maggiora nous voyons que c'est surtout le nombre des soulèvements du poids qui est modifié, la hauteur des premiers soulèvements est même augmentée. Cette observation se trouve en rapport avec une hypothèse intéressante qui a été développée par Kræpelin et Hoch[1] dans un travail récent; ces auteurs déduisent d'un certain nombre d'expériences qu'en lisant le tracé ergographique il faut séparer le nombre de soulèvements du poids et la somme des hauteurs de soulèvement, car il y a des causes qui influent sur le nombre sans modifier la somme des hauteurs, et il y a d'autres causes qui influent sur la somme des hauteurs de soulèvement sans produire

[1] Hoch et Kræpelin. *Ueber die Wirkung der Theebestandtheile auf körperliche und geistige Arbeit.* (*Psychologische Arbeiten*, I, 1896.)

un changement du nombre de soulèvements. En examinant de plus près ces différentes causes, les auteurs arrivent à la conclusion générale qui, si elle était vraie, aurait une importance pratique très grande, à savoir que la hauteur des soulèvements dépend de l'état des muscles, tandis que le nombre de soulèvements dépend du système nerveux central ; par conséquent, on aurait là un moyen permettant de séparer l'influence produite par certaines causes sur les muscles, de celle produite sur les centres nerveux. Bien que ce soit une hypothèse, elle est fondée sur des observations, et nous rapporterons ici ces observations, puisque si l'hypothèse précédente n'est pas exacte entièrement, elle pourrait contenir une part de vérité, qu'il est important de connaître. Voici ces observations :

L'exercice acquis en faisant tous les jours des expériences augmente surtout le *nombre* de soulèvements ; il influe bien un peu au début sur la hauteur des soulèvements, mais cette influence est bien plus faible que la première.

Au contraire, la fatigue produite en faisant des expériences toutes les dix minutes, diminue d'abord la hauteur des soulèvements, et seulement après vient une diminution du nombre de soulèvements.

Si on fait les expériences après un repas on voit que la hauteur des soulèvements augmente, tandis que le nombre ne varie pas ou même diminue un peu.

Les dispositions de travail, variables suivant les heures de la journée, influent surtout sur le nombre de soulèvements, sauf après les repas.

On remarque donc que les causes telles que la fatigue et les repas qui influent surtout sur les muscles (?) produisent une modification de la hauteur des soulèvements ; tandis que les causes comme l'exercice acquis de jour en jour et les dispositions générales pendant la journée influent surtout sur le nombre de soulèvements.

Une question importante se pose ici : A-t-on le droit de séparer l'action des muscles de l'action des centres ner-

veux ? Les expériences nombreuses de Mosso et de ses élèves, ainsi que celles de Waller, décident cette question dans le sens affirmatif.

On peut produire un mouvement de flexion du médius en excitant, par un courant électrique, le muscle directement ou le nerf moteur qui y aboutit. Or, si on fait des soulèvements volontaires de poids jusqu'à épuisement complet, il est encore possible d'obtenir des soulèvements par l'excitation électrique ; inversement, si le muscle est épuisé par les excitations électriques, on peut encore soulever le poids par des contractions volontaires. De plus, si après avoir fait quelques soulèvements volontaires, on produit un certain nombre de soulèvements par l'excitation électrique et qu'ensuite on fasse de nouveau des mouvements de flexion volontaire, ces derniers mouvements seront plus intenses que les soulèvements avant les contractions électriques, par conséquent la volonté s'est reposée pendant que le muscle travaillait sous l'influence des excitations électriques. L'inverse n'a pas lieu ; une série de soulèvements volontaires intercalés entre deux séries de soulèvements électriques n'augmente pas la force de ces derniers ; enfin il n'est pas possible d'obtenir par une excitation électrique une force de soulèvement aussi grande que par la volonté. Tous ces résultats semblent montrer qu'on doit séparer, dans l'acte de soulèvement d'un poids, d'une part l'action du muscle, et d'autre part cette action nerveuse centrale que l'on désigne par le nom d'impulsion volontaire.

L'hypothèse de Kræpelin et Hoch n'est donc pas, comme on le voit, présentée sans arguments ; seulement, comme l'importance de la question est très grande, on ne peut pas se décider à admettre une hypothèse aussi générale à la suite d'expériences faites sur un petit nombre de sujets. Il serait intéressant de poursuivre ces recherches, de modifier les différentes conditions d'expérience et surtout de faire les expériences sur beaucoup de sujets.

Dans quelques-uns de ses livres de vulgarisation Mosso est revenu sur cette question des rapports entre la fatigue psychique et le travail d'un doigt à l'ergographe ; par suite de l'importance très grande de la question, nous transcrivons ici ces observations nouvelles.

Ces observations sont intéressantes puisqu'elles montrent qu'il peut y avoir des différences individuelles ; de plus, pour un même individu la réaction peut être différente suivant les circonstances. Nous citons textuellement les paroles de Mosso [1] :

« Des expériences que j'ai faites sur la fatigue il résulte qu'il n'en existe qu'une seule espèce : la fatigue nerveuse. C'est du moins là le phénomène prépondérant, et la fatigue des muscles n'est au fond qu'un phénomène d'épuisement nerveux.

« La complication des phénomènes réside surtout en ce que ceux-ci sont sentis différemment par les divers individus. J'ai pu me convaincre, en étudiant la force musculaire chez plusieurs de mes collègues quand ils venaient de faire une leçon, quelle grande différence on constate d'un sujet à l'autre. Chez le professeur Aducco, le cours qu'il vient de faire a pour résultat d'amener une excitation nerveuse qui augmente sa force musculaire. J'ai constaté plusieurs fois ce fait lorsqu'il me suppléait à l'Université.

« Chez le professeur Aducco une excitation telle que celle qu'entraîne un discours solennel ou une leçon augmente la force musculaire ; mais la fatigue intellectuelle et les émotions prolongées diminuent au contraire la force des muscles, et finalement, à une surexcitation de la force nerveuse succède les jours suivants une dépression de cette force. »

Une seconde observation est celle sur le Dr Maggiora, le même qui a donné les courbes précédentes après avoir fait passer des examens. Les deux courbes suivantes ont

[1] Mosso. *La fatigue intellectuelle et physique*, p. 136.

été prises, la première avant une leçon faite par Maggiora, et la deuxième après cette leçon.

On voit qu'avant la leçon le sujet a soulevé le poids quarante-huit fois, la somme de hauteur de soulèvement est égale à 2 343 millimètres et les premiers soulèvements sont de 63 à 65 millimètres.

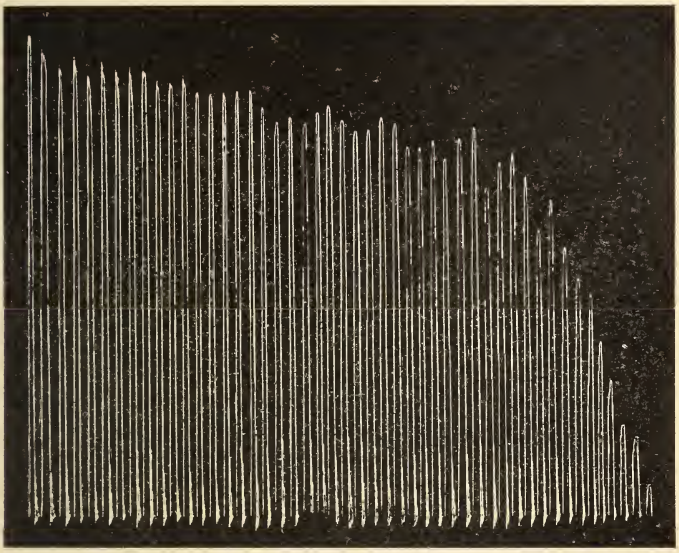

Fig. 72. — Tracé ergographique donné par Maggiora à l'état de repos avant son cours. Il y a 48 soulèvements, les premiers soulèvements sont de 60 à 65 millimètres et la somme totale des soulèvements est égale à 2 343 millimètres.

Après la leçon il a soulevé le poids seulement trente-sept fois, la somme des hauteurs de soulèvement est de 1 646 millimètres, et les premiers soulèvements ont comme précédemment 64 millimètres. Par conséquent, par suite de la fatigue intellectuelle produite par la leçon, le nombre de soulèvements et la somme des soulèvements ont diminué sensiblement, tandis que les premiers soulèvements étaient aussi forts après la leçon qu'avant ; c'est en

somme une confirmation du même fait observé après les examens.

Enfin la troisième observation rapportée par Mosso dans son livre sur la fatigue est celle de Patrizi ; cette observation a été faite avant et après une leçon de physiologie que le Dr Patrizi a prononcée en remplaçant Mosso. L'observa-

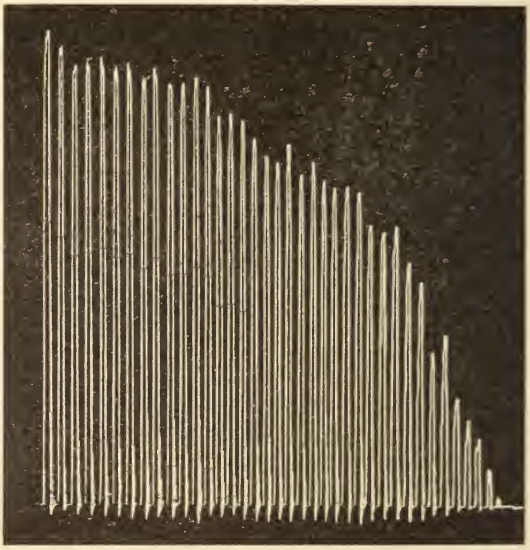

Fig. 73. — Tracé ergographique de Maggiora obtenu après la leçon. Les premiers soulèvements sont de 64 millimètres, le nombre de soulèvements est égal à 37 et la somme totale des hauteurs de soulèvement est de 1 646 millimètres. Par conséquent, sous l'influence de la leçon, ce sont le nombre de soulèvements et la somme des hauteurs qui diminuent.

tion est intéressante, nous la transcrivons presque complètement :

« A 5 heures j'étais déjà debout, et ce repos d'une si courte durée n'avait pas été compensé par un sommeil calme. Le thermomètre traduisit mon agitation, car au lieu de trouver 36°,9 comme température rectale, il y avait 37°,8. Je me levai et cherchai à surmonter mon

émotion croissante et à tromper l'ennui des quatre interminables heures qui me séparaient de l'instant solennel, en donnant les dernières retouches aux dessins qui devaient servir à la démonstration. Mais c'est difficilement que j'arrivai à corriger le tremblement de ma main, et le pinceau laissait des lignes inégales et ondulées.

« Vers 10 heures, la température était toujours 37°,8. Je pris à 10 heures et demie le tracé du pouls de l'avant-bras droit avec l'hydrosphygmographe. En comparant ce tracé à ceux des jours suivants, on voyait réellement que le pouls était plus fréquent : cent quinze pulsations au lieu de soixante-dix-huit ; le tracé ascendant de la systole était plus vertical, le tracé descendant plus rapide, et le dicrotisme plus manifeste. Ces caractères différentiels avec le pouls normal étaient plus accentués après la leçon, parce que le dicrotisme était beaucoup plus marqué ; c'était un indice certain du relâchement des parois vasculaires.

« A 10 heures 27 minutes, peu d'instants avant d'entrer en chaire, le nombre des battements cardiaques s'était accru. Il y en avait cent trente-six par minute. Le nombre des mouvements respiratoires complets montait à trente-quatre. J'éprouvais une sensation de pression et d'étranglement à l'épigastre, et la salivation s'était un peu accrue, de telle sorte que j'étais obligé de cracher un peu.

« J'entrai, et après avoir parlé soixante-dix minutes, marchant et gesticulant avec vivacité, en partie pour dissimuler mon embarras, je sortis à moitié couvert de sueur, et un grand soupir s'échappa de ma poitrine. Je pris de nouveau le pouls dans les mêmes conditions que précédemment, les pulsations étaient au nombre de cent six par minute. La température était montée à 38°,7. Avec l'ergographe, en soulevant un poids de 3 kilogrammes, je ne pus exécuter qu'un travail de $4^{kg},50$, alors que deux heures auparavant, lorsque mon agitation était à son comble, j'avais accompli un travail de $5^{kg},95$. On voit que je

n'étais pas encore entré dans la phase de dépression nerveuse, parce que ce travail de $4^{kg},50$, accompli immédiatement après la leçon, est encore supérieur au travail normal accompli à la même heure, celui-ci n'étant que de $4^{kg},35$. Je sentis que mon exaltation nerveuse allait disparaître et faire place à la dépression. Je traînais la jambe comme si je venais de faire une longue course. Je m'endormis bientôt d'un sommeil profond et continu qui dura deux heures et restaura mes forces. »

Toutes ces observations montrent donc qu'il faut distinguer les influences produites sur la force musculaire par un travail intellectuel sans accompagnement émotionnel de celles que produit un travail intellectuel accompagné d'émotions fortes, comme dans le cas du Dr Patrizi. Il semble que lorsque le travail intellectuel agit seul pendant une heure à peu près, il se produit une diminution de la force musculaire ; tandis que lorsqu'il y a travail intellectuel avec émotion, il se produit d'abord une augmentation de la force musculaire, et ce n'est qu'après un certain intervalle que la force diminue et tombe au-dessous de la valeur normale.

Deux autres auteurs, Keller[1] et Kemsies[2], ont fait quelques expériences ergographiques sur des élèves ; il est à regretter que ces auteurs n'aient rapporté leurs résultats que très sommairement, de sorte que l'on ne peut guère juger comment les expériences étaient faites. Le résultat qu'ils ont trouvé tous les deux est que la force musculaire diminue après les différentes leçons, et de plus que la valeur du travail musculaire donné à l'ergographe varie beaucoup d'un jour à l'autre. Nous transcrivons les chiffres rapportés par Kemsies pour un élève de quatorze ans qui soulevait un poids de 2 550 grammes :

[1] Keller. *Pädagogisch-psychometrische Studien* (*Biologisches Centralblatt*, 1894.)

[2] Kemsies. *Zur Frage der Ueberbürdung unserer Schuljugend* (*Deutsche medicinische Wochenschrift*, 1896, 27.

Mercredi à 3 heures après-midi.	2,058	kg. m.	
Jeudi à 2 heures	1,02	—	(un peu fatigué).
Jeudi à 6 heures	1,22	—	(un peu fatigué).
Vendredi à 3 heures.	0,867	—	(un peu fatigué).
Vendredi à 6 heures.	0,740	—	(fin des études).
Samedi à 8 heures du matin . .	1,173	—	(un peu fatigué).
Samedi à 2 heures.	0,867	—	
Samedi à 6 heures.	0,842	—	(fin des études).
Lundi à 6 heures	1,275	—	
Mardi à 8 heures du matin . .	2,130	—	
Mardi à 2 heures.	1,700	—	

Ces chiffres isolés ne peuvent conduire à aucune conclusion; nous les rapportons pour montrer qu'il y a là tout un sujet d'études importantes qui doivent vivement intéresser le pédagogue. Nous répétons pour ces expériences la même chose que ce que nous avons dit pour les autres expériences sur la circulation du sang et sur la respiration : elles sont faciles à faire dans les écoles, elles prennent peu de temps et peuvent conduire à des résultats pratiques importants.

En résumé, le fait qui paraît être établi positivement est que le travail intellectuel produit une modification de la force musculaire ; cette modification est différente suivant que le travail est court ou qu'il est prolongé, suivant que le travail est accompagné d'un état émotionnel ou non. En étudiant les modifications produites par le travail intellectuel sur la force musculaire il faut distinguer deux genres d'efforts : premièrement l'effort maximum que l'on peut donner une fois au dynamomètre, c'est l'épreuve de force; et deuxièmement la quantité des efforts successifs que l'on peut donner à des intervalles rapprochés, c'est l'épreuve de fond.

Il semble — c'est un fait qu'il faut encore contrôler par de nouvelles expériences — que sous l'influence d'un travail intellectuel court la force musculaire augmente ; que sous l'influence d'un travail intellectuel d'une heure sans accompagnement émotionnel la force musculaire diminue, et cette

diminution porte sur l'épreuve de répétition, c'est-à-dire sur l'épreuve de fond. Enfin il semble qu'après un travail intellectuel d'une heure accompagné d'une émotion excitante la force musculaire augmente, mais quelque temps après elle tombe au-dessous de la normale.

CHAPITRE VII

INFLUENCE DU TRAVAIL INTELLECTUEL
SUR LES ÉCHANGES NUTRITIFS

Nous avons montré dans les chapitres précédents que le travail intellectuel amène des changements bien déterminés dans la circulation du sang, dans la respiration et dans la production de chaleur de l'organisme; ce sont là des influences qu'il importe de connaître, qui nous font mieux comprendre les effets nuisibles produits par le surmenage intellectuel, mais qui n'ont pas encore de portée pratique pour le pédagogue. Dans le présent chapitre nous sommes en présence d'une question non seulement intéressante au point de vue théorique, mais aussi très importante pratiquement, c'est la question de l'influence produite par le travail intellectuel sur les échanges nutritifs de l'organisme.

L'importance pratique de cette question pour le pédagogue est évidente; en effet, la nutrition est la fonction de l'organisme qui se trouve à la base de toutes les autres fonctions; une nutrition normale est la condition première d'une bonne santé; l'activité d'un organe quelconque dépend de l'état de la nutrition de cet organe; d'une part, si la nutrition n'est pas suffisante, l'organe ne peut plus travailler aussi bien qu'à l'état normal, et d'autre part tout travail prolongé, toute dépense d'énergie amène certaines modifications dans les échanges nutritifs, et pour réparer ces modifications un simple repas ne suffit souvent pas, il faut intervenir en activant la nutrition.

La réglementation de l'alimentation est une des questions les plus difficiles de l'hygiène scolaire ; il faut d'abord donner aux enfants une nourriture suffisante pour réparer leurs forces et pour les rendre capables d'exécuter un travail intellectuel et physique tel que celui qu'ils ont à faire à l'école ; en outre il faut tenir compte de la répartition des classes, dans une journée ; ainsi il est évident qu'il doit y avoir des différences dans la facilité de travail avant le déjeuner et après le déjeuner ; l'heure des repas, la quantité de nourriture et sa composition doivent influer sur le travail intellectuel que l'on fait après ces repas, et inversement l'organisme doit avoir besoin d'une nourriture différente après plusieurs heures de travail intellectuel assidu et après un repos de quelques heures. Faut-il donner au déjeuner la même nourriture que pour le dîner, ou bien faut-il donner pour l'un plus que pour l'autre ? Combien de temps de récréation faut-il laisser écouler entre la fin d'un repas et le commencement des classes ? Faut-il mettre les leçons les plus difficiles avant, ou après les repas ? Doit-on mettre les classes de gymnastique avant, ou après les repas ? etc.

Voilà quelques-unes des nombreuses questions pratiques qui se présentent et auxquelles nous ne pouvons pas pour le moment donner de réponse précise. Nous voyons que dans chaque pays on accepte un système différent ; en France, on a en général trois heures de classe le matin, puis vient le déjeuner suivi d'un repos d'environ une heure ; enfin il y a deux ou trois heures de classe l'après-midi. En Allemagne, on a dans les lycées cinq heures de classe le matin (de 8 heures à 1 heure), puis vient le déjeuner, et dans l'après-midi on travaille bien moins. Enfin en Russie, après trois heures de classe le matin vient le déjeuner ; une demi-heure après les classes recommencent.

Quel est le système le plus rationnel ? quel est celui qui répond le mieux aux conditions de l'hygiène de l'esprit et du corps ? On n'en sait rien pour le moment. Seulement, si

on ne peut pas encore donner de réponse précise à ces différentes questions, on peut dès maintenant indiquer des méthodes d'étude qui permettront un jour d'arriver à des résultats pratiques d'une grande importance. Il faut poursuivre ces recherches, et pour pouvoir le faire il faut absolument que ces recherches soient encouragées par l'administration ; des personnes compétentes doivent avoir l'autorisation de faire dans les écoles des expériences inoffensives sur les élèves. Ces expériences sont faciles à faire, elles ne prennent pas beaucoup de temps et ne peuvent par conséquent pas amener de dérangements dans les classes.

Comment étudier l'influence produite par le travail intellectuel sur les échanges nutritifs ? La question est très compliquée ; il est en effet difficile de déterminer la quantité et la qualité de la nourriture qui convient le mieux à un individu donné après un travail intellectuel ou après un repos ; il est impossible de se fier à l'appétit, puisqu'il varie beaucoup suivant les circonstances et que le moindre effort de volonté, la connaissance seule que l'on est en expérience, suffisent pour modifier l'appétit d'un individu. D'autre part, une nourriture insuffisante ou trop forte ne se fait sentir le plus souvent qu'après un intervalle prolongé.

Il semblerait donc que l'on devrait renoncer à étudier expérimentalement l'influence produite par le travail intellectuel sur la nutrition chez des individus isolés.

Ce serait une conclusion erronée, puisque nous sommes en réalité en possession de deux procédés qui permettent d'étudier l'influence cherchée. Si l'on ne peut pas, par suite des complications et des variations fortuites, étudier la quantité de nourriture qui convient le mieux après un travail intellectuel et après un repos chez un individu pris isolément, on peut faire cette détermination chez un groupe d'individus qui se trouvent dans des conditions égales, qui mènent la même vie, qui travaillent et se reposent aux

mêmes heures ; en effet, les variations fortuites existent pour eux aussi bien que pour chaque individu, mais elles se détruisent les unes les autres, et si on prend le total de nourriture consommée par ce groupe uniforme d'individus, soit après un travail intellectuel assidu, soit après un repos prolongé, il est très probable que la différence de la consommation exprimera l'influence produite par le travail intellectuel.

Il faut, bien entendu, que les conditions soient aussi comparables que possible dans les deux cas ; il faut refaire l'expérience plusieurs fois, et c'est seulement si les résultats concordent qu'on pourra affirmer avec certitude que l'on a trouvé une certaine influence produite par le travail intellectuel sur la nutrition.

La première des conditions, c'est de donner la même nourriture toutes les fois ; elle doit non seulement avoir la même composition, mais de plus il faut qu'elle soit préparée toujours de la même manière. Ajoutons que cette nourriture ne doit pas être limitée en quantité, il faut qu'elle soit à discrétion ; ce n'est qu'à cette condition que l'on verra si l'on a plus ou moins mangé après le travail intellectuel.

Les premières recherches faites par l'un de nous (Binet), d'après cette méthode, ont donné des résultats intéressants que nous rapporterons plus loin. Avant d'en parler, indiquons la seconde méthode ; elle est plus ancienne que celle que nous venons de décrire : c'est l'étude de la sécrétion urinaire.

La sécrétion urinaire. — On sait que lorsqu'un organe quelconque fonctionne, il se forme dans cet organe des produits de désassimilation ; des substances chimiques nuisibles à l'organisme s'accumulent dans cet organe ; le sang enlève ces substances nuisibles, *ces poisons de l'organisme*, comme on les appelle, il les entraîne avec lui et les met en contact avec les parois de certaines glandes, dont les plus

importantes sont les reins ; la fonction de ces glandes consiste surtout à laisser passer à travers leurs parois les substances nuisibles entraînées par le sang ; c'est ainsi que par filtration à travers les parois des reins s'accumulent la plupart des composés chimiques renfermés dans l'urine. On comprend donc facilement que si une cause quelconque produit dans l'organisme une accumulation d'une certaine substance, cette substance apparaîtra, soit sous une forme pure, soit sous forme de composé, dans l'urine ; on pourra donc, par l'examen de l'urine, constater la production dans l'organisme de ladite substance. En somme, toute variation de la composition de l'urine indique une variation dans les échanges nutritifs de certains organes. L'analyse de l'urine pourra donc servir à constater une modification produite sur les échanges nutritifs.

Le deuxième procédé d'étude consiste donc à analyser l'urine, soit à des jours de repos, soit à des jours de travail intellectuel, et à observer les différences de composition qui dépendent de ces conditions.

Ce procédé a été employé par plusieurs auteurs depuis 1853, mais les résultats obtenus par des auteurs différents ne concordent pas entre eux ; souvent même il y a des contradictions évidentes. Ces différences dans les résultats tiennent à la difficulté de rendre les conditions d'expérience bien égales ; en effet, une des premières difficultés est l'alimentation ; le genre et la quantité d'aliments que l'on prend influent beaucoup sur la composition de l'urine ; il faut donc choisir un certain régime bien déterminé et se soumettre pendant plusieurs jours à ce régime alimentaire. Le choix de ce régime est très difficile, il faut qu'il ne soit ni trop abondant ni insuffisant ; on a cru voir une preuve que la quantité d'aliments correspond exactement aux besoins de l'organisme, lorsque le poids du corps reste constant pendant toute la durée de l'expérience ; mais il est évident que c'est une preuve bien incertaine, ce n'est qu'une indication approximative.

Chaque auteur, en se soumettant aux expériences, a choisi un régime alimentaire différent ; on devait donc s'attendre à obtenir des résultats variant d'un auteur à l'autre.

Une seconde cause de variabilité des résultats est le nombre trop faible d'individus soumis aux expériences. En général, chaque auteur n'a fait les expériences que sur lui-même, pour la raison bien simple qu'il est difficile d'exiger de quelqu'un qu'il se soumettre à un régime alimentaire particulier pendant une série de jours, qu'il travaille à certains jours et se repose à d'autres.

Passons rapidement en revue les résultats obtenus par les différents auteurs.

Mosler [1] a fait le premier des expériences sur l'influence produite par un travail intellectuel sur la composition des urines ; il se soumit à un régime alimentaire uniforme et trouva que sous l'influence d'un travail intellectuel l'acide phosphorique de l'urine augmente considérablement ; c'est surtout l'acide phosphorique uni aux terres qui augmente de quantité.

Hammond [2] reprit les expériences, il se soumit pendant dix jours à un régime spécial ; il trouva que sous l'influence du travail intellectuel la quantité totale de l'urine augmente ; de plus la composition de l'urine change : l'urée, le chlorure de sodium, l'acide phosphorique et l'acide sulfurique augmentent de quantité.

Byasson [3] refit avec soin les expériences ; on peut dire que c'est le premier auteur qui ait étudié soigneusement la question de l'influence produite par le travail intellectuel et physique sur la sécrétion urinaire.

Les expériences ont été faites pendant neuf jours de suite ; le régime alimentaire régulier auquel l'auteur s'était soumis comprenait par jour 1 500 centimètres cubes d'eau

[1] Mosler. *Beiträge zur Kenntniss der Urinabsonderung bei gesunden, schwangeren und kranken Personen*. Dissertat. Giessen, 1853.

[2] Hammond. *American Journ. of med. Sciences*. 1856.

[3] Byasson. *Essai sur la relation qui existe à l'état physiologique entre l'activité cérébrale et la composition des urines*. Thèse de Paris, 1868.

et 750 grammes d'un pain particulier, préparé de la manière suivante : 1 kilogramme de farine de blé, 6 œufs, 125 grammes de beurre, 60 grammes de sucre, une petite quantité de sel et puis la quantité nécessaire d'eau. Le poids de l'auteur était resté constant et égal à 53 kilogrammes pendant toute la durée des expériences. Les heures de coucher et de lever étaient toujours les mêmes : 11 heures du soir et 7 heures du matin.

Les 4e, 5e et 8e jours étaient des jours de repos ; l'auteur ne faisait ces jours-là que quelques analyses chimiques le matin.

Les 1er, 2e et 7e jours, il faisait pendant cinq à six heures du travail musculaire ; ce travail consistait à bêcher, marcher, monter et descendre un escalier.

Les 3e, 6e et 9e jours, il faisait six à sept heures de travail intellectuel, consistant en lecture attentive, rédaction, résolution de problèmes de mathématiques, etc.

Le tableau suivant contient les résultats obtenus ; les chiffres du tableau indiquent la composition moyenne des urines par jour; chaque colonne contient les moyennes prises sur trois jours de repos, ou trois jours de travail intellectuel, ou trois jours de travail musculaire.

Tableau de Byasson. Composition moyenne de l'urine par jour.

	REPOS	TRAVAIL intellectuel.	TRAVAIL musculaire.
Quantité totale de l'urine par jour	1 157	1 320	752
Densité	1,010	1,010	1,016
Acidité exprimée en potasse anhydre	0,117	0,117	0,300
Urée	20,46	23,88	22,89
Acide urique	0,132	0,136	0,222
Acide phosphorique anhydre	1,5080	1,9777	1,4779
Acide sulfurique anhydre	0,4646	0,9424	0,3878
Chlore	1,2239	0,4169	0,8792
Chaux	0,1264	0,1242	0,1251
Magnésie	0,1099	0,1153	0,1173
Potasse	0,2531	0,2674	0,2943

On voit d'abord que la quantité d'urine est plus considérable les jours de travail intellectuel que les jours de repos; au contraire elle est bien inférieure les jours de travail musculaire; ceci tient probablement à une transpiration abondante pendant le travail musculaire.

L'*acidité* de l'urine ne varie pas sous l'influence du travail intellectuel, et elle augmente considérablement à la suite d'un travail musculaire.

La quantité d'*urée* augmente après les deux genres de travaux, mais cette augmentation est plus forte sous l'influence du travail intellectuel.

La quantité d'*acide urique* ne varie pas après le travail intellectuel, elle augmente sous l'influence du travail musculaire.

L'*acide phosphorique* augmente à la suite d'un travail intellectuel, il diminue un peu après un travail musculaire.

Il en est de même pour l'*acide sulfurique*.

La quantité de *chlore* diminue après un travail musculaire et elle diminue encore plus après un travail intellectuel.

Les variations de *chaux*, de *magnésie* et de *potasse* sont très faibles.

Tels sont les résultats obtenus par Byasson. Il faut d'abord remarquer qu'il s'était soumis à un régime alimentaire très artificiel, et on peut se demander si sous un autre régime il aurait obtenu des résultats analogues aux précédents. De plus, les méthodes d'analyse employées par l'auteur ne sont pas très exactes, de sorte que l'on ne doit tenir compte que des variations assez fortes.

Wood[1] fit des expériences sur lui-même en 1869; il étudia surtout les variations dans la quantité d'acide phosphorique, et il distingua l'acide phosphorique uni aux terres de celui qui est uni aux métaux alcalins.

[1] Wood. *Recherches sur l'influence de l'activité cérébrale sur l'excrétion de l'acide phosphorique par le rein* (Proceedings of the Connecticut medical Society, 1869).

On a vu que, d'après Mosler, c'est surtout l'acide phosphorique uni aux terres qui augmente sous l'influence d'un travail intellectuel. Les recherches de Wood ont donné des résultats opposés à ceux de Mosler : la quantité totale d'acide phosphorique de l'urine ne varie pas ; il se produit une légère augmentation des phosphates alcalins et une diminution de 20 à 40 p. 100 de phosphate terreux.

Nous nous arrêterons plus longuement sur les deux dernières recherches faites sur ce sujet, ce sont celles de Mairet et de Thorion.

Mairet[1] a étudié seulement les variations de la quantité d'azote et d'acide phosphorique dans l'urine. Des expériences parallèles ont été faites, d'une part pour étudier l'influence de l'alimentation sur la composition de l'urine, et d'autre part l'influence produite par un travail musculaire ou intellectuel. Bien que l'influence produite par le travail musculaire n'entre pas directement dans le plan de notre livre, nous rapporterons ici les expériences de Mairet, puisqu'on peut de cette manière avoir un point de comparaison entre les influences du travail intellectuel et celles d'un travail physique.

L'étude de l'influence produite par le travail intellectuel a été faite sur deux personnes, dont l'une était l'auteur lui-même. Chez l'un des sujets il n'a été fait qu'une seule série de six jours d'expériences : les trois premiers jours étaient sans travail intellectuel, et, les trois derniers jours, le sujet faisait des traductions allemandes et anglaises pendant cinq heures par jour. Le régime alimentaire était toujours le même, c'était un régime mixte se composant des trois repas suivants ;

Premier repas. — 150 grammes de chocolat au lait et 50 grammes de pain.

Deuxième repas. — 170 grammes de soupe à la paysanne ; 100 grammes de pain ; un œuf sur le plat ; 30 grammes de

[1] Mairet. *Recherches sur l'élimination de l'acide phosphorique chez l'homme sain, l'aliéné, l'épileptique et l'hystérique.* Paris, Masson, 1884.

viande de mouton ; 50 grammes de pommes de terre ; un peu de confiture.

Troisième repas. — 150 grammes de soupe grasse ; 110 grammes de pain ; 50 grammes de viande de bœuf rôti ; 70 grammes de pommes de terre frites ; 10 grammes de fromage.

Voici maintenant les résultats obtenus en moyenne par jour :

Composition de l'urine d'après Mairet.

	EAU	AZOTE	ACIDE PHOSPHORIQUE TOTAL.	ACIDE PHOSPHORIQUE uni aux terres.	ACIDE PHOSPHORIQUE uni aux alcalis.
Repos	1.068	13,57	1,71	0,49	1,22
Travail intellectuel	947	12,07	1,57	0,50	1,07
Différence	— 121	— 1,50	— 0,14	+ 0,01	— 0,15

On voit donc que sous l'influence du travail intellectuel la quantité d'eau diminue, l'azote diminue, l'acide phosphorique uni aux alcalis diminue, tandis que l'acide phosphorique uni aux terres ne varie pas. Rappelons que ce sont des influences produites par un travail assez facile ne durant que deux heures le matin et trois heures l'après-midi.

Les expériences que l'auteur a faites sur lui-même sont plus nombreuses. Il a, d'une part, étudié l'influence produite par un travail intellectuel pendant des régimes alimentaires différents; d'autre part, il a étudié l'influence produite par un travail intellectuel plus ou moins long.

Deux régimes alimentaires différents ont été choisis par Mairet ; avec chacun de ces régimes, l'auteur a fait les expériences pendant une série de jours ; la composition des repas pris chaque jour pendant chacun des régimes se trouve donnée dans le tableau suivant :

1er REPAS		2e REPAS		3e REPAS	
Régime alimentaire mixte.					
	Gr.		Gr.		Gr.
Chocolat. .	150	Soupe paysanne .	170	Soupe grasse. . .	150
Pain. . . .	40	Pain.	120	Pain.	110
		Jambon	30	Viande de bœuf. .	50
		Un œuf au plat. .	»	Pommes de terre.	70
		Viande de mouton.	40	Fromage.	20
		Pommes de terre.	50		
		Fromage.	20	Eau et vin pour	
		Une pomme . . .	»	24 heures . .	1 100
		Café noir.	»		
Régime alimentaire végétal.					
Chocolat. .	150	Bouillon aux		Bouillon gras. . .	200
Pain. . . .	40	pommes de terre.	200	Pain.	60
		Pain.	60	Pommes de terre.	100
		Macaroni. . . .	150	Pois chiches . . .	80
		Pommes de terre.	80	Fromage.	20
		Fromage.	20		
		Une pomme . . .	»	Eau et vin en	
		Café noir.	»	24 heures. . .	1 100

Avec le régime alimentaire mixte, l'auteur est resté au repos quatre jours de suite, puis il a travaillé pendant les quatre jours suivants ; ce travail consistait dans la rédaction de questions médicales pendant sept heures par jour; les deux jours suivants l'auteur a fait du travail intellectuel durant dix heures par jour.

Les résultats des expériences sont contenus dans le tableau qui suit :

Composition de l'urine d'après Mairet.

	EAU	AZOTE	ACIDE PHOSPHORIQUE		
			Total.	Uni aux terres.	Uni aux alcalis.
Repos	1 195	24,54	2,15	0,50	1,65
Travail intellectuel de 7 heures . . .	1 246	22	2,05	0,52	1,53
Travail intellectuel de 10 heures . .	1 410	21,08	1,85	0,58	1,27

	EAU	AZOTE	ACIDE PHOSPHORIQUE		
			Total.	Uni aux terres.	Uni aux alcalis.
Différence entre le travail intellectuel de 7 heures et le repos. . .	+ 51	— 2,54	— 0,10	+ 0,02	— 0,12
Différence entre le travail intellectuel de 10 heures et le repos. . .	+ 215	— 3,46	— 0,30	+ 0,08	— 0,38

On voit qu'avec le régime alimentaire mixte le travail intellectuel diminue la quantité d'azote de l'urine, il diminue la quantité d'acide phosphorique uni aux alcalis et n'influe presque pas sur l'acide phosphorique uni aux terres. De plus le tableau précédent montre que ces influences sont plus fortes pour le travail intellectuel de dix heures que pour le travail de sept heures.

Avec le régime alimentaire végétal, l'auteur a fait des expériences pendant une série de six jours ; les trois premiers jours étaient des jours de repos, les trois suivants comprenaient sept heures de travail intellectuel par jour. Les résultats obtenus sont contenus dans le tableau suivant :

	EAU	AZOTE	ACIDE PHOSPHORIQUE		
			Total.	Uni aux terres.	Uni aux alcalis.
Repos	1 660	10,82	1,59	0,43	1,16
Travail intellectuel de 7 heures. . .	1 633	8,45	1,60	0,51	1,10
Différence	— 27	— 2,37	+ 0,01	+ 0,08	— 0,6

On voit que sous ce régime, comme précédemment, la

quantité d'azote diminue sous l'influence du travail intellectuel, celle de l'acide phosphorique uni aux alcalis diminue un peu, celle de l'acide phosphorique uni aux terres augmente un peu.

Enfin, l'auteur s'est soumis aussi à un régime de diète, dans lequel pendant trente-six heures il n'a pris que 200 grammes de bouillon de viande ; l'expérience a été faite à deux reprises, une fois avec repos, et une autre fois, dix jours après, avec un travail intellectuel de sept heures. Les résultats obtenus concordent avec ceux que nous avons indiqués plus haut; les voici :

	EAU	AZOTE	ACIDE PHOSPHORIQUE		
			Total.	Uni aux terres.	Uni aux alcalis.
Repos	525	12,13	1,39	0,26	1,13
Travail intellectuel	570	10,71	1,34	0,35	0,99
Différence	+ 45	— 1,42	— 0,05	+ 0,09	— 0,14

Ainsi dans ce cas aussi la quantité d'azote et d'acide phosphorique uni aux alcalis diminue sous l'influence du travail intellectuel, tandis que la quantité d'acide phosphorique uni aux terres augmente un peu.

Comme comparaison donnons les résultats des expériences faites sur l'influence produite par un travail musculaire sur la composition de l'urine.

Ce travail musculaire consistait à monter des paillassons; ce travail nécessitait la station verticale, un va et vient autour du métier, des mouvements de flexion du tronc, enfin et surtout la mise en activité des muscles des bras et du thorax. Il est à noter que jamais ce travail n'a produit chez les personnes en expérience de transpiration forte. La durée de ce travail était égale à sept heures, dont trois le matin et quatre l'après-midi.

Les individus étaient soumis pendant une série de jours soit à un régime mixte, soit à un régime végétal. Chaque série comprend seize jours, dont les huit premiers sans travail et les huit suivants avec travail musculaire.

Les tableaux suivants résument les résultats obtenus pour deux sujets.

	AZOTE	ACIDE PHOSPHORIQUE		
		Total.	Uni aux terres.	Uni aux alcalis.
1er sujet. Régime mixte.				
Repos	22,58	1,85	0,48	1,37
Travail musculaire	23,57	2,20	0,49	1,71
Différence	+ 0,99	+ 0,35	+ 0,01	+ 0,34
Régime végétal.				
Repos	19,30	1,90	0,43	1,45
Travail musculaire	22,21	2,32	0,45	1,86
Différence	+ 2,91	+ 0,42	+ 0,02	+ 0,41

Pour le deuxième sujet, les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

	AZOTE	ACIDE PHOSPHORIQUE		
		Total.	Uni aux terres.	Uni aux alcalis.
2e sujet. Régime mixte.				
Repos	21,17	2,11	0,54	1,57
Travail musculaire . .	22,55	2,27	0,53	1,74
Différence	+ 1,38	+ 0,16	— 0,01	+ 0,17

	AZOTE	ACIDE PHOSPHORIQUE		
		Total.	Uni aux terres.	Uni aux alcalis.
Régime végétal.				
Repos	21,36	2,03	0,51	1,52
Travail musculaire. .	24,68	2,37	0,45	1,92
Différence	+ 3,32	+ 0,34	— 0,06	+ 0,40

On voit donc que l'influence produite par le travail musculaire est bien différente de celle produite par le travail intellectuel. En effet, sous l'influence du travail musculaire la quantité d'azote augmente, celle de l'acide phosphorique uni aux alcalis augmente aussi, tandis que la quantité d'acide phosphorique uni aux terres ne varie presque pas. De plus les variations sont plus fortes lorsque le sujet est soumis au régime végétal que pendant le régime mixte.

En résumant les influences produites par le travail intellectuel et musculaire sur la quantité d'azote et d'acide phosphorique dans l'urine, nous obtenons le tableau suivant :

	AZOTE	ACIDE PHOSPHORIQUE		
		Total.	Uni aux terres.	Uni aux alcalis.
Travail intellectuel	Diminué.	Diminué.	Normal.	Diminué.
Travail musculaire	Augmenté.	Augmenté.	—	Augmenté.

Ce sont, on le voit, des influences tout à fait contraires. L'auteur discute longuement la raison des différents changements observés. Ces discussions reposent sur

de pures hypothèses et sont sujettes à caution ; nous nous contenterons par conséquent de les indiquer très brièvement.

Le travail intellectuel entraîne, comme nous l'avons vu, une diminution de la quantité d'azote. Or, on sait que l'azote que l'on trouve dans les urines dépend beaucoup des aliments ingérés et de la décomposition des matières albuminoïdes. Comme l'alimentation a été la même les jours de repos que les jours de travail intellectuel, on ne peut pas rapporter la diminution de l'azote de l'urine à une variation dans la nourriture; il faut donc l'attribuer à une moindre décomposition des matières albuminoïdes.

On ne peut pas, d'après l'auteur, rattacher la diminution de la décomposition des matières albuminoïdes à une variation des échanges nutritifs qui se passe dans le système nerveux ; il faut donc conclure que sous l'influence du travail intellectuel la nutrition générale de l'organisme se ralentit. C'est une conclusion qui paraît probable et qui se trouve bien d'accord avec les études récentes de Binet sur la consommation du pain pendant l'année scolaire ; de même ce résultat concorde aussi avec ceux qui ont été obtenus sur l'influence qu'un travail intellectuel prolongé produit sur la circulation du sang.

La discussion faite par Mairet de la cause qui amène une diminution de la quantité d'acide phosphorique uni aux alcalis et une légère augmentation de l'acide phosphorique uni aux terres nous paraît moins convaincante que la précédente. Il attribue, d'une part, la diminution de l'acide phosphorique uni aux alcalis à la diminution de la nutrition générale, et d'autre part il attribue cette diminution à l'activité du cerveau; le cerveau emploie, d'après lui, de l'acide phosphorique pour travailler; hâtons-nous de dire que cette dernière conclusion n'est pas prouvée, elle ne peut être admise que sous forme de conjecture.

Les méthodes chimiques employées par Mairet pour l'analyse de l'urine ne sont pas très précises ; elles ont été

critiquées par Thorion [1], qui a repris l'étude de l'influence produite par le travail intellectuel sur les urines.

Nous rapporterons les résultats obtenus par cet auteur. Il a analysé aussi complètement que possible l'urine; c'est un avantage sur le travail de Mairet; mais d'autre part il n'a étudié l'influence du travail intellectuel que pour un seul régime alimentaire.

Les expériences ont été faites par l'auteur sur lui-même pendant onze jours de suite. Le régime alimentaire auquel il s'est soumis est le suivant. Il y a eu deux repas par jour ; *à midi :* viande de bœuf (exempte d'os, graisse, aponévroses, tendons), 150 grammes ; haricots secs, 100 grammes ; graisse, 40 grammes (20 grammes de beurre et 20 grammes de saindoux) ; fromage, 20 grammes ; pain, 150 grammes ; vin rouge à 10°,5, 500 centimètres cubes ; eau, 500 centimètres cubes.

A 7 heures et demie : viande de bœuf, 150 grammes ; pommes de terre, 200 grammes ; beurre, 20 grammes ; fromage, 20 grammes ; pain, 150 grammes ; vin rouge 500 centimètres cubes ; eau, 1 000 centimètres cubes ; eau-de-vie à 45°, 22 centimètres cubes.

Ce régime a été choisi de telle manière que le poids total du corps (73 kilogrammes) n'a pas varié pendant les onze jours d'expérience.

Le sommeil a toujours duré de 10 heures et demie du soir à 6 heures et demie du matin. Toutes les causes d'excitation nerveuse ont été évitées.

Les 2e, 3e, 6e, 7e, 8e et 11e jours étaient des jours de *repos ;* ces jours-là l'auteur faisait des analyses des urines et calculait les résultats de ces analyses ; c'était bien un certain travail intellectuel, mais comme l'auteur était habitué à faire ces analyses, ce travail lui était très facile ; le reste du temps de la journée il demeurait en repos.

Les 1er, 4e, 5e, 9e et 10e jours étaient des jours avec travail

[1] Thorion. *Influence du travail intellectuel sur les variations de quelques éléments de l'urine à l'état physiologique.* Paris, Baillière, 1893.

intellectuel ; entre les analyses des urines l'auteur travaillait ces jours pendant cinq à huit heures ; ce travail consistait dans la lecture de livres scientifiques, la correction des épreuves, la composition et la résolution de problèmes d'algèbre.

Passons aux résultats ; nous donnons dans le tableau suivant les valeurs moyennes des analyses des urines pour les jours de repos et pour les jours de travail intellectuel.

	REPOS	TRAVAIL intellectuel.	DIFFÉRENCE
Quantité totale de l'urine en 24 heures	1 518 cc.	1 678 cc.	160 +
Densité de l'urine	1,0184 —	1,0168 —	0,0016—
Quantité de chlore	6,08 gr.	6,26 gr.	0,18 +
Soufre total en acide sulfurique	2,79 —	2,66 —	0,13 —
Acide phosphorique total	2,4168 —	2,2971 —	0,0197—
Chaux	0,144 —	0,192 —	0,048 +
Magnésie	0,128 —	0,140 —	0,012 +
Azote total en urée	33,68 —	34,05 —	0,37 +
Urée	31,49 —	30,65 —	0,84 —
Acide urique	0,825 —	0,845 —	0,02 +

On voit par le tableau précédent que le travail intellectuel augmente le volume de l'urine, il augmente la quantité de magnésie et surtout celle de chaux ; il diminue la densité de l'urine et la quantité d'acide sulfurique. Les autres substances ne présentent pas de variation bien nette ; il faut noter que l'acide phosphorique *total* ne varie presque pas sous l'influence du travail intellectuel; mais il est probable que les composés phosphoriques changent ; ainsi il est probable, d'après l'auteur, que la quantité des phosphates terreux augmente, tandis que celle des phosphates alcalins diminue.

Si maintenant on compare les résultats trouvés par différents auteurs, on voit qu'ils ne concordent pas les uns avec les autres ; cela tient d'abord à ce que chaque auteur

a choisi un régime alimentaire différent, puis il est probable que les différences individuelles doivent être considérables; enfin les méthodes d'analyse employées n'ont pas toujours été assez précises[1].

La conclusion générale qui résulte de ces expériences est que le travail intellectuel influe sur la composition de l'urine d'une manière assez notable; cette influence est très complexe; il y a d'abord, comme l'ont trouvé tous les auteurs, une augmentation de la quantité totale de l'urine et une diminution de la densité de l'urine. Il faut rapprocher cette augmentation de la quantité de l'urine des expériences faites sur la pression du sang par Binet et Vaschide, qui ont vu que la pression du sang augmente dans la main après un travail intellectuel (voir chap. v). Si cette augmentation de la pression du sang dure pendant la journée entière et existe aussi bien pour les vaisseaux sanguins qui entourent les reins, il en résulterait une augmentation de la quantité totale de l'urine, comme le montrent les expériences de physiologie faites sur des animaux. Mais hâtons-nous de dire que rien ne nous permet d'affirmer que la pression du sang dans l'artère rénale augmente en même temps que la pression dans les vaisseaux sanguins de la main.

La plupart des auteurs ont, de plus, observé que sous l'influence d'un travail intellectuel la composition des phosphates de l'urine change; il semble que les phosphates alcalins diminuent de quantité, tandis que les phosphates terreux ne varient pas ou augmentent un peu.

Les recherches précédentes n'épuisent guère la question de l'influence produite par un travail intellectuel sur la composition de l'urine; il faut poursuivre des expériences sur cette question[2] et chercher à discuter les résultats avec plus de soin qu'on ne l'a fait jusqu'ici. Ces expériences ne

[1] Ces différences individuelles ont été constatées par Stcherbak. *Arch. de médec. expérim.*, 1893.

[2] L'un de nous (V. Henri) poursuit en ce moment des recherches en ce sens.

peuvent certainement être faites que dans des laboratoires sur un nombre limité de sujets ; il semblerait donc qu'elles ne peuvent pas avoir de portée générale pour la pédagogie ; ce serait là une conclusion erronée ; en effet, on peut espérer par l'examen des urines arriver à déterminer les influences que le travail intellectuel produit sur la nutrition de l'organisme ; on peut même, en poursuivant ces recherches, déterminer les procédés qui doivent être employés pour réparer aussi bien que possible les modifications produites par le travail intellectuel dans la nutrition générale ; ce sont là des questions d'une portée générale dont la résolution doit avoir un retentissement sur l'hygiène scolaire.

Une erreur générale commise par tous les auteurs qui ont étudié l'influence produite par le travail intellectuel sur la composition de l'urine, est qu'ils ont pris l'urine totale rendue en vingt-quatre heures et ont fait l'analyse de cette urine totale ; or, sur ces vingt-quatre heures il n'y en avait que sept ou huit pendant lesquelles l'individu faisait du travail intellectuel ; il est donc probable que la composition de l'urine varie d'une manière différente suivant les heures de la journée. Il faudrait, dans les recherches de ce genre, recueillir l'urine d'heure en heure, noter toutes les heures ce que l'on avait fait et analyser les quantités d'urine rendues toutes les heures ; de cette manière on verra d'abord avec quelle rapidité l'influence du travail intellectuel se fait sentir sur la composition de l'urine ; de plus, on pourra suivre pas à pas la marche de cette influence et voir après quel intervalle de repos l'urine reprend sa composition normale. Voilà des questions urgentes, qu'il est facile d'étudier puisque l'on connaît les méthodes qu'il est nécessaire d'employer, et il est possible que l'étude de ces questions permette de jeter quelque jour sur la question si importante du surmenage intellectuel. En effet, en discutant la question du surmenage intellectuel, la première chose que l'on se demande est le mode et la rapidité de la réparation des effets produits par le travail intellectuel ; il

faut donc, pour chaque fonction physiologique et psychologique, étudier quel est le repos nécessaire pour ramener l'état de cette fonction à sa valeur normale. Il faut en effet se rappeler que le surmenage survient dans des cas où l'individu ne s'étant pas reposé suffisamment reprend le travail.

Ces études de laboratoire sur la composition de l'urine doivent aller parallèlement avec les études sur la consommation des élèves dans des écoles qui ont un internat. Nous passons aux résultats obtenus par Binet sur la consommation du pain.

Consommation du pain. — Ce ne sont encore que des résultats partiels ; les renseignements recueillis jusqu'ici proviennent des écoles normales d'instituteurs et d'institutrices, écoles qui existent en France dans chaque département ; ce sont des internats ; l'âge des élèves est en moyenne de seize à dix-huit ans ; les études durent trois ans ; elles comprennent les lettres, les sciences, la gymnastique ; on travaille onze à douze heures par jour, on n'est admis à l'école qu'après un examen sérieux; il y a à chaque fin d'année un examen de passage, et l'examen de sortie est un concours dont le résultat présente pour les élèves une importance pratique de première ordre ; en sortant de l'école ils sont nommés instituteurs primaires; les notes de l'école ont une grande influence sur leur placement.

Nous avons demandé dans quatre de ces écoles normales supérieures un relevé exact de la consommation du pain pendant toute la durée d'une année scolaire, depuis octobre jusqu'à juillet. Les documents nous ont été fournis de la manière suivante : pour l'école normale d'instituteurs de Versailles, directement par l'économe, M. Provost, que nous connaissons personnellement et qui nous a donné la première idée de ces recherches; pour l'école d'institutrices du même département, par l'intermédiaire de l'inspecteur d'académie ; pour les deux écoles d'un département des

Vosges, par l'intermédiaire de l'inspecteur d'académie[1]. Chaque école nous a fourni le relevé du pain pendant deux années.

Voici sous quelle forme les calculs ont été faits :

Il faut d'abord savoir que le pain est donné à discrétion aux élèves ; on calcule la consommation totale du pain pour un mois, et on divise ce total par le nombre de jours du mois, on a de cette manière la quantité consommée par jour ; ce dernier chiffre étant divisé par le nombre des élèves, on obtient la consommation moyenne par tête. Pour que le calcul soit exact, on tient compte des absences, des congés, des maladies, des demi-jours de congé où les élèves n'ont pris qu'un repas sur deux.

Dans le nombre total des personnes ayant consommé figurent les professeurs et les domestiques, qui sont nourris à l'école ; il ne peut en être autrement puisque les professeurs mangent à la table commune, et que d'autre part on ne tient pas un compte spécial de la quantité de pain consommée par les domestiques. C'est donc une cause d'erreur, mais elle n'est pas considérable, car les professeurs et domestiques ne représentent guère plus qu'un dixième des élèves ; ainsi dans une école de soixante-quinze élèves, le personnel enseignant qui est nourri à l'école, joint aux domestiques, forme un total de sept personnes.

Une autre cause d'erreur à redouter, et qui serait infiniment plus grave que la précédente, serait l'inexactitude des documents qui nous ont été fournis. Nous avons attiré spécialement l'attention de MM. les inspecteurs sur ce point délicat, et ils nous assurent que le travail qu'ils ont fait faire est absolument consciencieux et digne de toute confiance. Du reste, nous avons entre les mains un moyen de contrôle ; nous n'avons qu'à comparer entre eux les divers documents, puisqu'ils parviennent de sources tout à fait

[1] Nous prions MM. les inspecteurs d'Académie et MM. les économes de Versailles et des Vosges de bien vouloir accepter nos vifs remerciements.

différentes ; nous avons eu la satisfaction de constater que la concordance existe.

Nous avons pris le pain comme exemple de la consommation, d'abord parce que le pain a toujours joué un rôle important dans l'alimentation des internats, ensuite parce que c'est un aliment d'une composition connue, qui change peu suivant les époques de l'année, et enfin et surtout parce qu'il était impossible de faire l'analyse des autres aliments servis aux élèves.

Nous mettons sous les yeux du lecteur quatre courbes : deux proviennent de documents fournis par l'école d'instituteurs de Mirecourt, et deux par l'école d'institutrices d'Épinal; les courbes formées de lignes pleines se rapportent à l'année 1895-1896, et les courbes formées de lignes pointillées correspondent à l'année 1896-1897; ces dernières sont incomplètes, les deux derniers mois font défaut; ils n'avaient pas encore été calculés au moment où les documents nous ont été adressés.

La consommation moyenne du pain, telle qu'elle ressort de ces courbes, a été de 750 grammes par jour pour les garçons, et de 550 pour les filles. Ces chiffres sont un peu supérieurs à ceux qui récemment ont été calculés par Lapicque et Richet[1] en prenant pour base des calculs la consommation totale de pain à Paris ; ces auteurs trouvent en moyenne 520 grammes de pain par jour pour chaque personne.

La direction générale des deux courbes est la descente ; la diminution de la quantité consommée est d'environ 200 grammes pour les garçons et de 100 grammes pour les filles. Cette diminution se fait graduellement, avec quelques irrégularités que l'on peut attribuer à des changements de température, ou à d'autres causes inconnues; mais si grandes qu'elles soient ces irrégularités ne masquent nullement la direction descendante des courbes ; et

[1] *Dictionnaire de physiologie* de Richet, art. *Aliment*, t. I, p. 294-381.

comme la descente commence avec l'année scolaire, en octobre, et atteint son maximum vers la fin de l'année

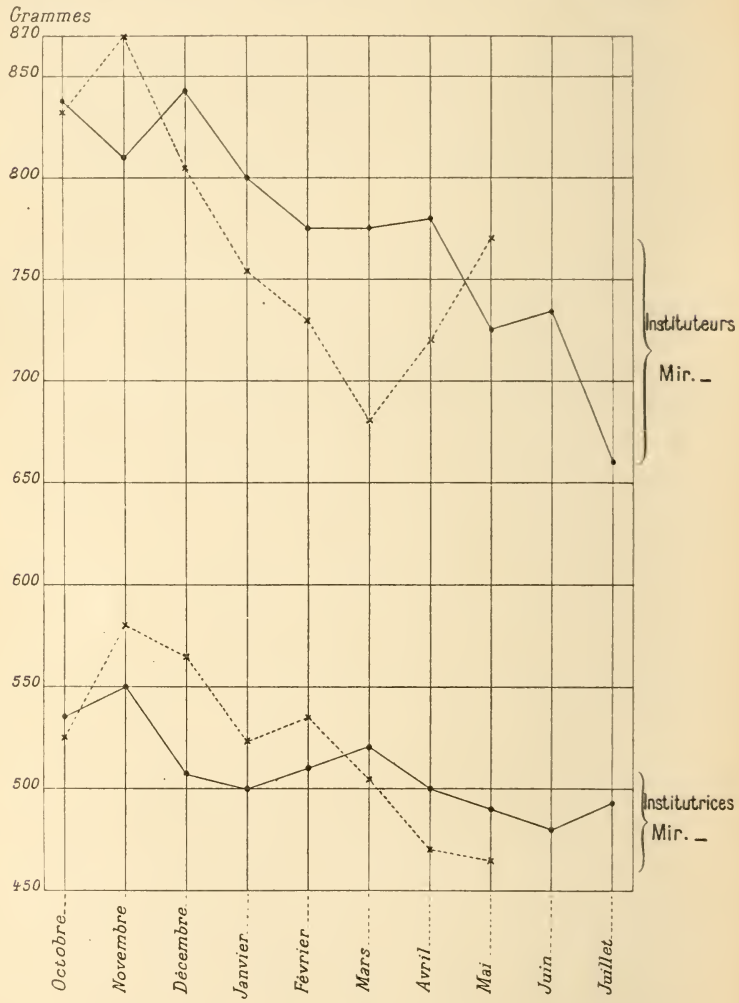

Fig. 74. — Graphiques de la consommation du pain dans les écoles normales d'instituteurs et d'institutrices pendant une année scolaire. Le trait plein correspond à l'année 1895-96, et le trait pointillé à l'année 1896-97. On voit que les courbes descendent depuis octobre jusqu'en juillet, c'est-à-dire que la consommation du pain diminue pendant l'année scolaire.

scolaire, en juillet, il est extrêmement probable qu'elle est sous l'influence du travail des études, et aussi de l'état émotionnel que les élèves éprouvent à l'approche des examens, qui ont une si grande importance pour leur avenir. Nous supposons qu'un autre groupe d'individus de même âge qui ne feraient pas de travail intellectuel dans les mêmes conditions, ne présenterait pas une diminution de la consommation de pain, diminution commençant en octobre et croissant jusqu'en juillet. Des documents[1] qui nous ont été fournis sur l'alimentation des femmes emprisonnées dans une maison centrale nous montrent aussi des courbes irrégulières, mais ces courbes ne présentent nullement une direction descendante d'octobre en juillet.

Ces chiffres nous montrent par conséquent que le travail intellectuel prolongé ralentit l'appétit, et très probablement aussi la nutrition. Il y aurait lieu maintenant de rechercher si la diminution de la consommation du pain coïncide avec d'autres résultats expérimentaux, comme une diminution du poids du corps et de la force musculaire.

Poids du corps. — Quelques auteurs ont étudié si l'augmentation du poids et de la taille des enfants était la même en hiver et en été; ces études doivent être mises à côté de l'étude sur la consommation du pain, puisqu'il est probable que l'augmentation de poids chez les enfants va parallèlement avec la consommation totale. Donnons les résultats de quelques-unes de ces recherches.

Wretlind[2] a fait peser les enfants des écoles de filles de Gottenburg à la fin des études, en juin, et après les vacances, en septembre ; le tableau suivant indique l'augmentation de poids des enfants de différents âges pendant les trois

[1] Nous adressons nos plus vifs remerciements à M. l'inspecteur C. Granier, qui a eu l'amabilité de nous procurer ces documents.

[2] Wretlind. *Jakttagelser rörande helsotillständet i några af Göteborgs flickskolor*. 1878.

mois de vacances d'été et pendant les neuf mois de l'année scolaire.

AGES	NOMBRE d'élèves pesés.		MOYENNE de l'augmentation de poids par élève.		RAPPORT entre les deux accroissements.
	En septembre.	En juin.	Pendant 3 mois de vacances.	Pendant 9 mois de vacances.	
			Grammes.	Grammes.	
7 ans.	41	80	506	1.602	3,1
8 —	105	134	680	1 640	2,4
9 —	161	207	854	1.730	2,0
10 —	189	263	1.071	1.912	1,8
11 —	256	243	1.160	2.469	2,1
12 —	246	237	1.517	3.098	2,0
13 —	240	266	2.095	2.529	1,2
14 —	252	235	1.975	3.030	1,5
15 —	178	221	1.959	1.713	0,9
16 —	83	76	1.424	1.521	1,0
17 —	19	15	1.364	425	0,3

Si l'accroissement pendant l'hiver était le même que pendant les vacances, le rapport qui se trouve indiqué dans la dernière colonne du tableau précédent devrait toujours être égal à 3. On voit que c'est seulement pour les enfants de sept ans que ce rapport est égal à 3,1 ; pour les autres enfants il est moindre. Par conséquent les enfants au-dessus de huit ans augmentent plus rapidement en poids pendant les vacances d'été que pendant les neuf mois de l'année scolaire. Pour déterminer la cause de ce retard dans l'accroissement de poids pendant l'hiver il aurait fallu faire des expériences sur des enfants qui ne vont pas à l'école et mènent la même existence toute l'année ; ce sont des conditions très difficiles à réaliser.

Des expériences analogues ont été faites par Vahl au Danemark ; il pesait les enfants au commencement d'octobre et au commencement d'avril. Les résultats obtenus concordent avec ceux de Wretlind ; les enfants augmentent plus de poids pendant les six mois d'été que pendant les

six mois d'hiver ; la différence est environ égale à un tiers. Voici les résultats obtenus par cet auteur :

AGES	NOMBRE d'enfants.	AUGMENTATION DE POIDS		DIFFÉRENCE
		Pendant l'hiver	Pendant l'été.	
		Grammes.	Grammes.	
4 ans.	80	616	824	+ 208
5 —	166	769	948	+ 179
6 —	222	786	1.041	+ 255
7 —	227	846	1.109	+ 263
8 —	229	909	1.215	+ 306
9 —	210	1.011	1.339	+ 328
10 —	185	1.220	1.458	+ 238
11 —	157	1.487	1.870	+ 383
12 —	133	1.772	2.176	+ 404
13 —	100	2.095	2.393	+ 298
14 —	61	1.611	2.648	+ 1.037
15 —	17	1.734	1.721	— 13

On voit que les différences sont positives, c'est-à-dire que les élèves augmentent plus de poids d'avril à octobre que d'octobre à avril.

Des résultats analogues aux précédents ont été obtenus par Malling-Hansen [1] et par Schmidt-Monnard [2] ; ce dernier auteur a étudié pendant plus d'une année comment varient le poids et la taille des enfants. Vingt enfants de un à deux ans et cent quatre-vingt-dix de deux à treize ans ont été soumis aux épreuves ; on déterminait le poids et la taille toutes les trois semaines.

Les mesures ont montré que l'augmentation de poids est le plus forte dans la deuxième moitié de l'année ; elle atteint son maximum en août et septembre. De février en juin le poids augmente très peu, en mars on observe même une légère diminution de poids. Ces variations ne se produisent pas chez les plus jeunes enfants.

[1] Malling-Hansen. *Ueber die Periodicität im Gewicht der Kinder an täglichen Wägungen wahrgenommen.* Kopenhagen, 1883 et 1886.

[2] Schmidt-Monnard. *Ueber den Einfluss der Jahreszeit und der Schule auf das Wachsthum der Kinder* (Jahrbuch für Kinderheilkunde). 1895.

En ce qui concerne la taille, elle augmente peu de septembre jusqu'en janvier, plus de février en juin, et enfin l'augmentation de la taille est maximum en juillet et août ; par conséquent la taille et le poids ne croissent pas tout à fait parallèlement, il y a des divergences.

L'auteur compare ces résultats avec les données statistiques sur le nombre des différentes maladies des enfants pendant les diverses époques de l'année, et il trouve que la période de croissance maximum coïncide avec la période où le nombre des maladies est minimum.

Enfin dernièrement Binet a recueilli des chiffres sur la diminution du poids chez des élèves de l'école normale d'instituteurs de Versailles après les examens. Ces élèves avaient été pesés en mai et l'ont été de nouveau après les examens au commencement d'août. Sur vingt élèves il y en a douze dont le poids a diminué après les examens ; chez trois élèves il est resté le même, et enfin seulement chez six élèves il a augmenté. Ces faits confirment complètement les résultats obtenus sur la consommation du pain pendant les études.

En somme, l'étude des échanges nutritifs a montré que le travail intellectuel produit une influence considérable sur la nutrition de l'organisme. Il se produit, à la suite d'un travail intellectuel de plusieurs heures, un ralentissement de la nutrition, et lorsque le travail intellectuel a une durée de plusieurs mois, ce ralentissement de la nutrition se fait d'une part sentir sur la quantité d'aliments absorbés, et d'autre part sur la diminution de poids du corps.

DEUXIÈME PARTIE

EFFETS PSYCHOLOGIQUES DU TRAVAIL INTELLECTUEL

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

Chacun sait qu'à la suite d'un travail intellectuel prolongé il se produit une diminution de l'activité mentale ; on ne peut plus aussi bien fixer son attention, on devient facilement distrait, on ne peut plus aussi facilement retenir de mémoire ce que l'on lit ou ce que l'on écoute, on commet des fautes en écrivant ou en faisant des calculs, enfin les associations deviennent difficiles, on ne sait plus bien écrire une composition ou résoudre un problème. Tels sont les effets psychologiques que chacun a pu observer sur lui-même. C'est de ces remarques générales que l'on se contente dans les traités de pédagogie ; on ne s'occupe pas de la question de savoir le degré et la durée de telle ou telle influence ; on ne soupçonne même pas la possibilité des méthodes expérimentales et pratiques permettant de déterminer le degré de fatigue intellectuelle. Il existe pourtant dans la psychologie expérimentale toute une série de recherches faites dans ces dix dernières années, qui ont pour but d'étudier la fatigue intellectuelle ; ces études ont été exécutées en partie dans des laboratoires de psychologie sur des personnes adultes qui se prêtent volontairement à ces expériences ; mais surtout on a fait

des expériences dans les écoles sur des élèves de différentes classes, et on a ainsi cherché à déterminer le degré de fatigue intellectuelle qui succède à différentes leçons. Ce sont les recherches de ce dernier genre qui doivent surtout intéresser le pédagogue ; mais avant d'en faire l'analyse nous exposerons les résultats des études de laboratoire, qui se rapportent toujours à un nombre restreint de personnes.

Les études de laboratoire servent d'une part à résoudre des questions théoriques en vue de déterminer la nature intime des effets psychologiques du travail intellectuel ; d'autre part, c'est dans les laboratoires de psychologie que l'on étudie les différentes méthodes pouvant être appliquées dans les écoles sur des élèves. En faisant des expériences sur un nombre restreint d'individus de bonne volonté, on détermine si une certaine méthode peut donner quelques résultats satisfaisants ou non, on étudie de près les causes d'erreur et la manière de les éviter ; en somme on prépare au laboratoire tout un plan d'expériences à faire sur les élèves, avec la certitude que ces expériences donneront des résultats satisfaisants. C'est là un point très important, puisqu'on dispose en général d'un temps assez court pour faire les expériences dans les écoles ; il faut donc tirer le meilleur parti possible de ce temps ; de plus, une règle générale, quand on fait les expériences sur les élèves, est qu'à la première entrevue les élèves prêtent toute leur attention aux expériences, ils s'y intéressent et essaient de faire le mieux possible ; mais lorsque les expériences se multiplient et se répètent, l'ardeur des élèves disparaît ; ils savent déjà de quoi il s'agit, ils y font moins attention, ce qui peut fausser les résultats ; or il est évident qu'il faut profiter du moment où les élèves font les expériences avec intérêt et y prêtent leur attention ; il faut donc arriver à l'école avec un plan d'expériences dont on est sûr, qui a été préparé à la suite d'essais faits dans un laboratoire de psychologie.

Les recherches de laboratoire peuvent être divisées en deux groupes :

1° On choisit un certain travail intellectuel, on le fait faire à quelqu'un pendant un temps assez long, une heure par exemple, et on observe si la vitesse et la qualité du travail changent pendant ce temps. Ce sont donc les effets produits par le travail intellectuel sur le travail même qui sont étudiés dans ce groupe de recherches.

2° On choisit un certain travail intellectuel que l'on fait faire à une personne pendant un certain temps, et on étudie si à la suite de ce travail différentes facultés psychiques de l'individu n'ont pas été modifiées ; ainsi, par exemple, on cherche si la durée des temps de réaction change ou non, si la mémoire des chiffres est modifiée ou non, etc. Ce sont donc les influences produites par le travail intellectuel sur différents processus psychiques qui font partie de ce deuxième groupe de recherches.

Toutes ces études de laboratoire ont été faites en Allemagne, surtout dans le laboratoire de Kraepelin à Heidelberg. Ce psychologue se distingue par une grande originalité ; il a entrepris ces travaux dans le but d'arriver à des méthodes pratiques pour l'étude des différents effets du travail intellectuel, et il est à désirer que des études de ce genre soient entreprises dans d'autres laboratoires de psychologie. Les recherches faites au laboratoire de Kraepelin ont malheureusement un défaut : le nombre trop faible de sujets ; souvent les expériences n'ont été faites que sur une ou deux personnes, et c'est de résultats aussi partiels que les auteurs déduisent des conclusions générales, non seulement pour d'autres individus appartenant au même milieu, mais même pour tous les individus, y compris les malades et les élèves des écoles. Ce sont des conclusions complètement hypothétiques, dont il ne faut pas tenir compte. L'importance des recherches de Kraepelin et de ses élèves ne consiste pas dans les résultats partiels obtenus sur des individus isolés ; elles valent par les méthodes d'étude que

Kraepelin a imaginées, elles valent aussi par la direction générale que Kraepelin a imposée à tous les travaux de ses élèves. Il est donc important de passer en revue les études faites au laboratoire de Kraepelin sur les influences du travail intellectuel.

CHAPITRE II

RECHERCHES DE LABORATOIRE

VARIATIONS DU TRAVAIL INTELLECTUEL EN FONCTION DE LA DURÉE

La première recherche faite sur cette question est celle de Oehrn, parue en 1889 comme dissertation, à Dorpat, et reproduite en 1895 dans la revue de Kraepelin [1]. Ce travail est supérieur sur plusieurs points aux autres recherches que nous passerons en revue plus loin ; d'abord les expériences ont été faites sur dix personnes, les résultats ne peuvent donc pas être considérés comme aussi partiels que ceux des autres travaux ; un second mérite de l'auteur est d'avoir fait les expériences parallèlement sur six processus psychiques différents, tandis que dans les autres recherches on n'a expérimenté que sur un ou deux processus seulement.

Les travaux intellectuels que les sujets devaient faire et dont on étudiait les variations étaient très simples et choisis de telle manière qu'on a pu exprimer par des chiffres la quantité de travail exécuté. Voici en quoi consistaient ces différents travaux :

1° *Compter les lettres d'un texte imprimé en caractères latins.* — Le sujet devait compter aussi rapidement qu'il le

[1] Oehrn. *Experimentelle Studien zur Individualpsychologie* (Psychologische Arbeiten), I, p. 92-152.

pouvait les lettres d'un texte, il devait les compter une à une, et, quand il arrivait à 100, faire un trait avec un crayon à l'endroit correspondant du texte, puis il continuait à compter les lettres du texte en commençant la numération par un. De plus, toutes les cinq minutes retentissait dans le laboratoire un coup de sonnette, et à ce moment le sujet devait faire dans le texte une marque avec le crayon. Les expériences ayant montré que la prononciation des nombres prenait beaucoup de temps, l'auteur fit des expériences dans lesquelles les sujets devaient compter les lettres d'un texte pareil au précédent, mais par groupes de trois lettres.

2° *Addition de nombres d'un chiffre.* — L'auteur voulait étudier un acte d'association très simple, il choisit l'addition de nombres d'un chiffre ; le sujet avait devant lui un cahier dans lequel étaient imprimées sur chaque page dix colonnes de chiffres ; ces colonnes sont suffisamment espacées l'une de l'autre pour qu'on puisse facilement écrire des nombres entre deux colonnes voisines. Voici par exemple une partie de quatre colonnes voisines que nous reproduisons en grandeur naturelle :

5	4	3	6
7	7	4	9
9	8	2	8
3	5	6	5
2	7	5	7
6	6	7	6
8	5	8	8

Ce spécimen donne une idée exacte de la dimension des chiffres et de l'écartement des colonnes ; il reste à dire que les pages du cahier sur lesquelles ces colonnes sont imprimées ont une dimension de 21 sur 28 centimètres, le nombre de colonnes est de dix, et le nombre de chiffres par colonne est de 36. Nous donnons ici la reproduction d'une page entière réduite de moitié.

5	5	8	4	7	8	3	3	1	5
9	2	7	6	5	9	1	5	5	4
7	7	2	2	4	4	6	2	7	3
3	9	6	3	7	3	8	9	8	8
4	8	9	8	1	9	2	2	6	5
2	7	5	6	6	6	5	5	9	7
6	6	1	3	9	5	9	7	5	8
8	5	3	9	8	2	8	6	6	6
6	4	9	5	6	6	4	3	9	7
9	3	3	2	3	5	6	8	5	9
5	9	8	6	5	1	7	7	7	3
7	8	4	9	8	6	6	5	2	1
9	1	5	8	7	7	5	9	9	2
8	7	1	1	2	8	9	4	3	5
5	2	6	4	7	7	7	3	8	7
4	7	2	7	4	6	5	9	5	4
7	8	7	2	6	9	4	1	8	8
1	6	4	7	7	5	3	7	6	6
6	5	7	9	4	3	2	8	9	2
9	6	8	3	2	4	7	6	7	9
4	4	6	6	6	7	1	7	1	2
3	3	9	3	1	5	8	5	8	3
5	9	4	4	5	3	6	6	3	7
2	6	5	8	9	5	9	3	9	5
9	8	1	9	4	2	3	2	6	6
8	3	7	4	3	6	2	7	8	4
7	5	4	7	8	8	7	5	5	5
6	7	9	2	7	7	5	9	2	7
7	9	8	6	2	6	4	5	7	5
5	6	7	7	4	8	8	6	1	8
4	8	2	5	8	7	6	7	7	3
1	1	3	1	7	9	3	8	4	2
8	5	6	3	6	5	6	3	3	6
5	9	1	6	2	7	9	9	9	8
4	4	5	9	5	6	8	3	6	4
3	3	9	8	1	9	5	6	1	7

Le sujet doit faire la somme des deux premiers chiffres de la première colonne et écrire cette somme à côté du second chiffre de la première colonne ; ainsi dans l'exemple précédent il doit écrire 12 (5 + 7 = 12) à côté de 7, puis à cette somme il doit ajouter le troisième chiffre de la première colonne, qui est 9 dans le cas présent, il obtient donc 9 + 12 = 21, et ce 21 doit être écrit à côté de 9 ; il doit ensuite ajouter à cette somme (21) le quatrième chiffre de la colonne (qui est 3) et ainsi de suite ; lorsque la somme dépassera 100 il devra négliger les centaines. Le sujet doit faire les additions aussi rapidement qu'il le peut ; toutes les cinq minutes, au coup de sonnette, il doit faire une marque avec le crayon. On peut ainsi compter, quand tout est terminé, le nombre d'additions qui ont été faites toutes les cinq minutes, et de plus, on peut compter le nombre d'erreurs commises. Nous décrivons aussi longuement cette méthode, parce que c'est la même méthode qui est employée dans toutes les autres recherches faites au laboratoire de Kraepelin, et que cet auteur propose même d'employer cette méthode dans les écoles et sur des malades.

Elle présente un défaut grave : c'est qu'il faut écrire chaque fois le résultat de l'addition ; cette nécessité d'écrire prend un temps bien plus considérable qu'on ne le pense en général, — et, cause d'erreur importante, ce temps pris par l'écriture est souvent supérieur au temps nécessaire pour faire l'addition elle-même. Or les expériences de ce genre durent au moins une demi-heure et souvent leur durée dépasse une heure ; faire des calculs aussi monotones en se dépêchant toujours est assez fatigant, mais ce qui est bien plus fatigant encore, comme l'un de nous (V. Henri) a pu le constater sur lui-même et sur d'autres personnes en refaisant des expériences analogues à celles de Kraepelin, c'est d'écrire les résultats chaque fois. On arrive après un certain temps à un état d'énervement général, les mouvements de la main deviennent saccadés, on ressent de la fatigue dans la main et dans les doigts. Il est

certain que cette fatigue motrice de la main doit influencer les résultats, et comme les variations que l'on observe en général par la méthode des additions sont très faibles, il est à craindre que ces variations ne soient souvent dues à des effets de fatigue motrice de la main.

C'est une cause d'erreur sur laquelle Kraepelin et ses élèves n'ont pas suffisamment porté leur attention et qui diminue de beaucoup la valeur des expériences faites par cette méthode. Mais nous croyons quand même que cette cause d'erreur ne suffit pas pour rejeter complètement la méthode des calculs ; il faut seulement la modifier pour les recherches que l'on voudra entreprendre par cette méthode, il faut surtout augmenter la durée de l'acte d'addition. Deux modifications peuvent être employées, comme des expériences préliminaires nous l'ont montré ; c'est soit de faire faire au sujet des multiplications mentales de nombres de deux chiffres par des nombres d'un chiffre, soit de faire faire des additions de nombres de deux chiffres à des nombres de deux chiffres. De cette manière la durée prise par l'écriture des résultats reste à peu près la même que précédemment, mais l'acte mental est allongé, par conséquent on a moins à craindre que les variations dans la vitesse d'écriture ne modifient d'une façon notable les résultats.

Nous faisons cette critique de la méthode non seulement pour le travail de Œhrn, mais pour tous les travaux faits sous la direction de Kraepelin, et dont nous passerons en revue plus loin les plus importants.

3° *Écriture sous dictée.* — Dans ces expériences faites par Œhrn, l'auteur cherchait à déterminer la vitesse de l'écriture tracée sous une dictée aussi rapide que possible. On dictait au sujet un texte facile, il devait écrire aussi vite qu'il le pouvait, et toutes les cinq minutes il faisait une marque ; l'auteur n'a pas tenu compte des erreurs commises dans la dictée ; il n'a compté que le nombre de lettres écrites toutes les cinq minutes.

4° *Lecture à haute voix.* — Pour étudier une autre fonction motrice, l'auteur priait le sujet de lire à haute voix aussi rapidement qu'il le pouvait un texte facile. On notait le nombre de lettres lues toutes les cinq minutes.

5° *Mémoire des chiffres.* — On peut étudier la mémoire des chiffres de deux façons différentes : d'une part, on peut prononcer devant le sujet une série de quelques chiffres, sept par exemple, et le prier de répéter après cette unique audition les chiffres de la série dans le même ordre. On détermine ainsi le nombre maximum de chiffres qui peuvent être retenus exactement après une seule audition. D'autre part, on peut donner au sujet une série de chiffres assez longue pour qu'il ne puisse pas la répéter après une seule lecture ; on dira au sujet de lire cette série de chiffres plusieurs fois de suite, jusqu'à ce qu'il puisse la dire de mémoire exactement ; on compte dans ce cas le nombre de répétitions nécessaires pour apprendre cette série de chiffres, et ce nombre de répétitions exprimera d'une manière relative l'état de la mémoire des chiffres chez l'individu sujet. Pour une même série de chiffres, celui qui a employé plus de répétitions a une mémoire d'acquisition moindre que celui qui en a employé moins.

L'auteur a employé cette deuxième méthode : le sujet avait devant lui des séries dont chacune se composait de 12 chiffres ; il devait lire la première série autant de fois de suite qu'il lui était nécessaire pour pouvoir la répéter exactement de mémoire ; ceci fait, il passait à la seconde série et ainsi de suite. Toutes les cinq minutes, au coup de la sonnette, le sujet traçait une marque au crayon ; on voyait ainsi combien de chiffres, par séries de 12, il avait appris par cœur toutes les cinq minutes.

Donnons un exemple d'une série de 12 chiffres :

6 5 9 4 3 8 7 2 8 5 9 4

Il faut en moyenne pour un individu une dizaine de répétitions pour apprendre cette série par cœur.

6° *Mémoire des syllabes.* — De même que pour les chiffres, on présentait au sujet des séries composées chacune de douze syllabes différentes n'ayant pas de sens. En voici un exemple :

Kal, rop, fech, tal, rur, til, dep, nov, veil, pex, bor, ciq.

Ce sont, on le voit, des syllabes composées avec une voyelle comprise entre deux consonnes. Le sujet doit lire une série analogue à la précédente, autant de fois qu'il est nécessaire pour pouvoir la répéter de mémoire. Ceci fait, il passe à la série suivante. On compte comme précédemment le nombre de syllabes apprises par cœur tous les cinq minutes.

Ces différentes expériences étaient faites pendant deux heures chacune sans interruption ; on notait, comme nous l'avons déjà dit, la quantité de travail fait toutes les cinq minutes.

Dix personnes de vingt et un à trente-trois ans, pour la plupart des médecins et des étudiants, ont servi comme sujets.

Examinons les résultats obtenus. Lorsqu'on fait un travail intellectuel continu, plusieurs facteurs différents entrent en jeu. En effet, on peut se mettre au travail avec plus ou moins d'énergie ; on peut en commençant ne pas bien savoir s'y prendre pour faire vite le travail exigé ; puis, au bout de quelque temps, on acquiert une certaine adaptation d'esprit qui permet de faire le travail plus rapidement ; enfin la fatigue peut intervenir et modifier la vitesse ; l'ennui, l'idée qu'il y a encore beaucoup de temps jusqu'à la fin, ou au contraire l'approche de la fin, toutes ces causes influent sur la vitesse du travail, et si on analyse l'état mental de celui qui fait l'expérience, on trouve que cet état est très complexe.

Kraepelin et ses élèves admettent que lorsqu'on fait un certain travail intellectuel, deux facteurs principaux influent sur la vitesse ; ces deux facteurs sont appelés par eux l'*exercice* et la *fatigue*. Une telle affirmation aurait

besoin d'être prouvée, et surtout il serait nécessaire d'analyser exactement le sens de ces termes *exercice* et *fatigue*. Doit-on appeler exercice toute augmentation de la vitesse du travail ? Nous ne le croyons pas, puisqu'une émotion, une concentration extrême de l'attention peuvent augmenter la vitesse de travail. En somme, on ne peut pas admettre les explications de Kraepelin et de ses élèves sans faire des réserves.

D'après Œhrn, les deux facteurs principaux, qui sont l'exercice acquis et la fatigue, ont une influence opposée : le premier tend à augmenter la vitesse du travail, tandis que le deuxième la ralentit. Par conséquent, à chaque moment la quantité de travail se trouve réglée par l'intensité des deux facteurs. Si l'exercice à un moment donné est grand et si la fatigue est faible, c'est l'exercice qui prédominera, et la quantité de travail exécuté sera plus forte qu'au commencement ; si au contraire l'exercice acquis est faible, tandis que la fatigue est déjà assez forte, on fera moins de travail qu'au commencement. Donc si on prend les quantités de travail fait de cinq minutes en cinq minutes, on pourra voir comment varie la différence des deux facteurs ; toutes les fois que la vitesse de travail augmentera, on pourra en conclure que l'exercice acquis prédomine sur la fatigue, et au contraire, lorsque la vitesse du travail diminuera, on dira que c'est la fatigue qui prédomine. Mais dans aucun cas on n'obtient la valeur de l'influence produite par l'un des deux facteurs isolément ; l'influence de l'exercice masque celle de la fatigue, et réciproquement l'influence de la fatigue masque celle de l'exercice.

C'est là un fait général qu'il faut se rappeler, car il intervient non seulement dans les expériences de laboratoire, mais aussi dans les expériences faites sur des élèves des écoles, et il est souvent bien difficile de distinguer l'influence produite par la fatigue mentale puisque cette influence est masquée par celle de l'exercice. Nous en verrons plusieurs exemples dans la suite.

La vitesse moyenne des différents travaux intellectuels étudiés par l'auteur varie beaucoup suivant les individus et suivant les travaux. Nous donnons dans le tableau suivant la vitesse maximum, la vitesse minimum et enfin la vitesse moyenne pour différents actes psychiques qui font partie des travaux intellectuels étudiés par l'auteur.

	DURÉE minimum.	DURÉE maximum.	DURÉE moyenne.
Lecture d'une syllabe	0,116	0,172	0,138
Acte de compter des lettres par groupe de trois lettres; durée pour une lettre.	0,209	0,440	0,323
Acte de compter des lettres une par une; durée pour une lettre. . . .	0,317	0,530	0,406
Ecriture d'une lettre.	0,331	0,603	0,425
Addition de deux chiffres.	0,754	1,533	1,255
Séries de douze chiffres apprises par cœur; durée pour un chiffre . . .	4,200	20,000	9,619
Séries de douze syllabes apprises par cœur; durée pour une syllabe. .	7,89	21,43	11,80

Les nombres du tableau précédent représentent des secondes; on voit donc par exemple que, pour lire une syllabe, le sujet le plus rapide employait 0,116 seconde, le sujet le plus lent employait 0,172 secondes; pour faire l'addition de deux chiffres le sujet le plus rapide mettait 0,754 seconde, tandis que le sujet le plus lent mettait 1,533 seconde, etc. On voit par le tableau précédent que plus la fonction psychique est compliquée et plus elle prend de temps, plus la différence entre la durée minimum et la durée maximum est grande, c'est-à-dire plus les différences individuelles sont grandes.

En étudiant les variations que subit la vitesse du travail pendant qu'on l'exécute, l'auteur trouve qu'en général cette vitesse augmente jusqu'à une certaine valeur maximum et puis diminue; on peut donc distinguer, pour un travail de deux heures, deux phases différentes, la première allant

depuis le commencement du travail jusqu'à la valeur maxima de la vitesse, c'est la phase où l'influence de l'exercice prédomine sur l'influence de la fatigue ; la deuxième phase va depuis le maximum jusqu'à la fin ; pendant cette période, c'est la fatigue qui prédomine sur l'exercice.

Il arrive quelquefois pour quelques sujets que l'une des phases manque : ou bien la vitesse augmente continuellement jusqu'à la fin, ou bien elle diminue depuis le commencement jusqu'à la fin.

Les variations dans la vitesse du travail ne sont pas très régulières ; il se produit des oscillations dans la vitesse ; ces oscillations sont dues, en général, à des oscillations de l'attention. Lorsqu'on fait un certain travail intellectuel continu avec le plus de vitesse possible, on commence à mettre beaucoup de volonté, on concentre très fortement son attention ; mais, au bout de quelques minutes, on perd peu à peu cette verve du commencement, on devient plus tranquille, et bien qu'on fasse le travail avec soin, on n'y met plus ce zèle que l'on a déployé au début ; il en résulte une légère diminution de la vitesse du travail. Les expériences de l'auteur ont montré, dans plus de la moitié des cas, un léger ralentissement pendant les cinq à dix premières minutes. Après cette phase de verve, comme on pourrait l'appeler, on travaille avec plus d'égalité, on acquiert un certain exercice, et par suite la vitesse augmente jusqu'au maximum ; puis la fatigue commence à se faire sentir, la vitesse diminue, et dans cette deuxième phase on remarque souvent des irrégularités ; voici comment ces irrégularités se produisent : le sujet fait un certain travail, des additions par exemple, il sent déjà une certaine fatigue, et il commence involontairement à travailler plus lentement ; lorsque ce ralentissement devient assez fort, le sujet s'en aperçoit, il se rappelle qu'il faut faire le travail aussi vite que possible, et il redouble de force pour regagner la vitesse initiale. Enfin, le sujet sait qu'on fait les expériences pendant deux heures, il sait donc toujours

s'il lui reste encore beaucoup de temps ou non jusqu'à la fin, et lorsqu'il arrive aux cinq ou dix dernières minutes, il éprouve une certaine émotion ; sachant qu'il n'y a plus que quelques minutes à travailler, il veut bien les finir, il travaille donc avec une verve analogue à celle du commencement ; on remarque dans beaucoup de cas que la vitesse de travail augmente un peu pendant les dernières minutes.

En somme, la marche générale du travail pendant deux

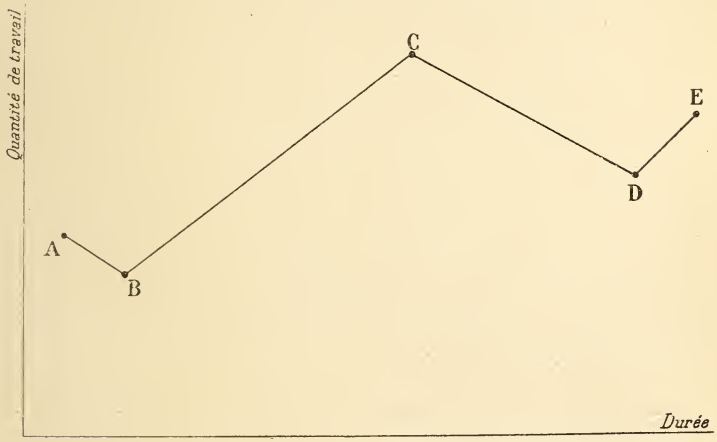

Fig. 75. — Marche générale de la vitesse du travail intellectuel.

heures est représentée par le tracé schématique de la figure 75 ; cette figure est obtenue en portant en abscisses la durée du travail et en ordonnées les quantités de travail de cinq minutes en cinq minutes. La courbe descend d'abord un peu ; c'est la phase de verve du commencement (AB) ; puis elle monte jusqu'à une certaine valeur maximum BC ; c'est la phase où l'exercice prédomine sur la fatigue ; puis elle descend de C en D ; c'est la phase où la fatigue prédomine ; enfin, elle remonte un peu vers la fin, DE, c'est la phase de verve de la fin. Telle est la marche générale qui s'observe chez la plupart des sujets pour les différents travaux intellectuels étudiés par l'auteur. Voyons maintenant les valeurs numériques pour chaque travail en particulier.

La position du maximum de vitesse varie beaucoup suivant les individus et suivant le travail intellectuel ; nous représentons ces positions du maximum dans le tableau suivant ; voici comment il est obtenu : le travail a été fait pendant deux heures, on a partagé ces deux heures en huit parties de quinze minutes chacune et on a calculé la quantité de travail fait dans chaque quart d'heure. Les chiffres du tableau suivant indiquent le quart d'heure pour lequel il y a eu le plus de travail fait. Exemple : relativement au premier sujet K, on voit que le maximum de travail a été fait pendant le quatrième quart d'heure pour l'acte de compter les lettres et pour les additions ; ce maximum a été atteint pendant le troisième quart d'heure pour l'écriture sous dictée ; pendant le sixième pour la lecture ; pendant le huitième pour la mémoire des chiffres, et enfin pendant le premier quart d'heure pour la mémoire des syllabes ; ajoutons que l'expérience de la mémoire des syllabes a été faite pendant six quarts d'heure, et non pas pendant huit, comme les autres expériences :

SUJETS	ACTE de compter des lettres une par une.	ACTE de compter des lettres trois par trois.	ADDITION	ÉCRITURE	LECTURE	MÉMOIRE des chiffres.	MÉMOIRE des syllabes.
K.	4	4	4	3	6	8	1
H. D.	6	8	2	1	6	1	1
M	5	4	1	1	8	7	1
B	1	4	2	1	1	5	1
F	5	7	4	4	1	8	1
W	3	2	5	4	3	6	6
H	7	8	1	6	1	1	1
E D.	3	8	4	5	2	6	6
Frl. R	1	1	2	1	6	1	3
O	1	3	4	1	1	7	3
Moyenne . .	3,6	4,9	2,9	2,7	3,5	5,0	2,4

On voit, d'une part, que pour un même sujet la place du maximum varie suivant le travail ; ainsi, on peut atteindre le maximum de vitesse pour l'acte de compter des lettres seulement dans le huitième quart d'heure (HD), et pour les additions, l'atteindre déjà dans le deuxième quart d'heure, etc. D'autre part, la place du maximum pour le même travail varie beaucoup suivant les sujets ; ainsi, quelques-uns l'atteignent au commencement ; d'autres au milieu, et d'autres, enfin, vers la fin des deux heures de travail.

Mais, en examinant de plus près les chiffres du tableau précédent, on voit qu'il y a des personnes pour lesquelles le maximum se trouve en général plus près du commencement du travail ; il y en a d'autres pour lesquelles il est en général vers la fin ; ainsi, pour les sujets B, Frl. R et O, le maximum est en général atteint bien plus rapidement que pour les sujets ED, K, F et W. Il semble qu'il y ait là un caractère général que l'on pourrait exprimer en disant que les premiers sujets s'exercent rapidement, mais la fatigue se produit vite chez eux et amène une diminution de la vitesse ; souvent même, pour ces individus, la quantité maximum de travail est produite au commencement, pendant le premier quart d'heure, et ensuite la vitesse diminue, car la fatigue prédomine dès le début sur l'exercice. Dans le deuxième groupe d'individus, l'exercice prédomine sur la fatigue pendant un temps plus long que pour les premiers, ce qui prouve, ou bien que l'exercice est considérable, ou bien que la fatigue est très faible.

Si maintenant on examine les places du maximum pour un même travail intellectuel chez les différents sujets, on voit qu'il y a des différences assez nettes, qui sont traduites par les valeurs de la moyenne qui se trouve au bas du tableau ; cette moyenne est la plus faible pour la mémoire des syllabes ; ce qui indique que, de tous les travaux intellectuels étudiés, le maximum est atteint le plus rapidement pour la mémoire des syllabes ; puis vient l'écriture, puis

l'addition, la lecture, l'acte de compter des lettres une par une, l'acte de compter des lettres trois par trois, et en dernier lieu la mémoire des chiffres. L'auteur, en suivant le travail de cinq minutes en cinq minutes, a calculé, pour les dix sujets, la durée moyenne après laquelle on atteint le maximum de vitesse du travail. Voici ces chiffres exprimés en minutes :

	Maximum atteint après :
Mémoire des syllabes.	24 minutes.
Ecriture.	26 —
Additions	28 —
Lecture	38 —
Acte de compter les lettres une par une.	39 —
Acte de compter les lettres trois par trois.	59 —
Mémoire des chiffres	60 —

Ces chiffres montrent donc que la fatigue commence à prédominer sur l'exercice au bout de vingt-quatre minutes pour la mémoire des syllabes, au bout de vingt-six minutes pour l'écriture, etc.

L'auteur calcule le degré d'augmentation de la vitesse de travail dans la première phase et le degré de diminution de vitesse après le maximum. Pour faire ce calcul il prend la valeur minimum de la vitesse avant le maximum dans la première phase du travail, retranche cette valeur minimum de la vitesse maximum et prend le rapport de cette différence à la valeur maximum. Ceci revient donc, d'après le schéma de la page 239, à prendre la différence des ordonnées de C et de B et à calculer le rapport de cette différence à l'ordonnée de C. Le même procédé est employé pour calculer la diminution de la vitesse après le maximum.

Donnons un exemple : prenons la quantité de travail fait de quart d'heure en quart d'heure et supposons que ce travail consiste en additions ; le sujet a fait par exemple dans les huit quarts d'heure successifs : 220, 218, 230, 241, 252, 243, 228, 230 additions.

On voit que la quantité maximum de travail a été faite dans le cinquième quart d'heure, cette quantité maximum est égale à 252. Dans la première phase, avant le maximum, la quantité la plus petite de travail a été faite dans le deuxième quart d'heure et cette quantité est égale à 218 ; on calcule donc la différence 252 — 218 qui est égale à 34, et on prend le rapport $\frac{34}{252} = 0,13$; par conséquent l'augmentation de la vitesse sous l'influence de l'exercice est égale à 13 p. 100 de la vitesse maximum. Après le maximum la vitesse diminue et atteint sa plus petite valeur pendant le septième quart d'heure, cette valeur est égale à 228 ; pour calculer la diminution de la vitesse due à la fatigue, on prend la différence 252 — 228 = 24, et on calcule le rapport $\frac{24}{252} = 0,09$; la diminution de la vitesse est donc égale à 9 p. 100 de la vitesse maximum.

SUJETS	AUGMENTATION DE LA VITESSE DE TRAVAIL sous l'influence de l'exercice.							
	ACTE de compter des lettres une par une.	ACTE de compter des lettres trois par trois.	ADDITION	ÉCRITURE	LECTURE	MÉMOIRE des chiffres	MÉMOIRE des syllabes.	MOYENNE
	P. 100.	P. 100.						
K.	15	12,1	14,2	1,8	5,9	54,5	0	14,8
H. D	3,4	13,2	11,0	0	14,6	0	0	6,0
M.	6,0	11,8	0	0	11,4	23,8	0	7,6
B	0	14,4	1,6	0	0	47,8	0	9,1
F.	9,9	16,1	9,7	2,8	0	58,3	0	13,8
W.	3,8	0,1	13,0	3,4	2,6	22,6	14,8	8,6
H.	22,2	17,7	3,5	6,0	0	0	0	6,2
E. D	8,4	22,8	9,2	4,2	12,1	48,9	27,6	19,0
Frl. R. . . .	0	0	2,4	0	10,5	0	11,5	3,6
O.	0	2,8	5,8	0	0	24,3	8,2	5,9
Moyenne. .	6,9	11,1	7,0	1,8	5,7	28,0	6,2	

Ces chiffres n'expriment pas le degré de l'influence pro-

duite par l'exercice tout seul ou par la fatigue toute seule, puisque ces deux facteurs influent simultanément sur le travail, et ce n'est que la différence de ces influences qui est exprimée par ces calculs.

Nous donnons dans le tableau précédent les valeurs de l'augmentation de la vitesse de travail pendant la première phase pour les différents travaux et les dix sujets ; les nombres du tableau sont calculés comme nous l'avons montré plus haut.

Dans le tableau précédent il y a un certain nombre de zéros ; ils signifient que la vitesse maximum était la vitesse initiale et que dès le commencement la vitesse de travail a diminué.

Avant de discuter les résultats contenus dans le tableau précédent, donnons encore les chiffres qui expriment de combien diminue la vitesse après le maximum lorsque la fatigue prédomine sur l'exercice.

SUJETS	DIMINUTION DE LA VITESSE DE TRAVAIL sous l'influence de la fatigue.							
	ACTE de compter des lettres une par une.	ACTE de compter des lettres trois par trois.	ADDITIONS	ÉCRITURE	LECTURE	MÉMOIRE des chiffres	MÉMOIRE des syllabes.	MOYENNE
	P. 100.	P. 100.						
K.	5,7	7,7	12,6	7,5	5,3	0	33,3	10,3
H. D.	6,1	0	15,9	9,1	5,3	62,5	74,3	24,7
M.	3,4	14,0	13,2	10,4	0	16,6	37,1	13,5
B.	12,2	11,4	11,7	6,2	7,6	26,0	50,0	17,9
F.	5,1	4,9	12,0	4,5	8,4	0	71,4	15,2
W.	3,2	10,2	20,7	4,9	4,6	11,3	0	7,8
H.	5,4	0	26,7	7,4	11,1	18,1	50,0	16,9
E. D.	2,5	0	14,2	3,1	6,5	34,6	0	8,7
Frl. R. . . .	12,6	16,0	14,9	19,8	2,5	32,3	33,4	18,8
O.	5,6	4,6	12,0	10,7	7,6	21,9	35,6	14,0
Moyenne. .	6,2	6,9	15,4	8,4	5,9	22,3	38,5	

Un coup d'œil sur les tableaux précédents montre qu'il y a des différences individuelles considérables ; mais avant d'examiner ces différences individuelles, portons notre attention sur les différents travaux intellectuels, examinons donc les chiffres moyens qui se trouvent dans la dernière ligne de chacun des deux tableaux précédents. On voit que l'augmentation de la vitesse de travail ainsi que sa diminution après le maximum présentent des degrés variables suivant les différents travaux. Ainsi cette augmentation est le plus faible pour l'écriture, elle est égale à 1,8 ; elle est un peu plus forte pour la lecture (5,7), puis viennent la mémoire des syllabes, l'acte de compter les lettres une à une, les additions, l'acte de compter les lettres trois pàr trois ; enfin cette augmentation est le plus forte pour la mémoire des chiffres.

L'ordre de ces travaux est différent pour la diminution de la vitesse après le maximum dans la phase où la fatigue prédomine sur l'exercice ; ainsi la diminution de la vitesse est le plus faible pour la lecture (5,9), puis viennent l'acte de compter les lettres une à une, l'acte de compter les lettres trois par trois, l'écriture, les additions, la mémoire des chiffres et en dernier lieu la mémoire des syllabes. Nous avons, dans un tableau précédent (p. 240), indiqué le temps à la suite duquel on atteignait la vitesse maximum, et nous avons rangé les différents travaux intellectuels par ordre en commençant par celui pour lequel la vitesse maximum était atteinte le plus rapidement et en terminant par celui pour lequel ce maximum était atteint après le temps le plus long. Construisons un tableau comparatif; dans la première colonne nous inscrirons les différents travaux intellectuels dans l'ordre qui correspond à la durée nécessaire pour atteindre le maximum, et nous commencerons par le travail pour lequel cette durée est le plus petite ; c'est la mémoire des syllabes. Dans la seconde colonne nous inscrirons les mêmes travaux ordonnés suivant le degré d'augmentation de la vitesse sous l'influence de

l'exercice ; nous commencerons par le travail pour lequel cette augmentation est le plus faible, c'est-à-dire par l'écriture. Enfin, dans la troisième colonne nous rangeons les différents travaux suivant le degré de diminution de la vitesse, et nous commençons ici par le travail pour lequel cette diminution est le plus forte, c'est-à-dire par la mémoire des syllabes.

Nous obtenons donc le tableau qui suit :

ORDONNÉS suivant le temps nécessaire pour atteindre le maximum de vitesse.	ORDONNÉS suivant le degré d'augmentation de la vitesse sous l'influence de l'exercice.	ORDONNÉS suivant le degré de diminution de la vitesse sous l'influence de la fatigue.
1° Mémoire des syllabes.	1° Ecriture.	1° Mémoire des syllabes.
2° Ecriture.	2° Lecture.	2° Mémoire des chiffres.
3° Lecture.	3° Mémoire des syllabes.	3° Additions.
4° Additions.	4° Acte de compter des lettres une à une.	4° Ecriture.
5° Acte de compter des lettres une à une.	5° Additions.	5° Acte de compter des lettres trois par trois.
6° Acte de compter des lettres trois par trois.	6° Acte de compter des lettres trois par trois.	6° Acte de compter des lettres une à une.
7° Mémoire des chiffres.	7° Mémoire des chiffres.	7° Lecture.

Si on compare ces trois séries entre elles, on voit qu'elles se ressemblent beaucoup, et cette ressemblance est surtout marquée pour les deux premières colonnes. Exprimons ces résultats plus clairement : on voit que, pour les travaux dans lesquels le maximum de vitesse est atteint rapidement, l'augmentation de la vitesse sous l'influence de l'exercice est faible, tandis que la diminution de la vitesse par suite de la fatigue est forte. On peut représenter graphiquement ce résultat. Portons en abscisses les durées en minutes et

portons en ordonnées les quantités de travail. Nous supposons pour plus de clarté que la vitesse minimum au commencement est la vitesse de début ; prenons trois travaux

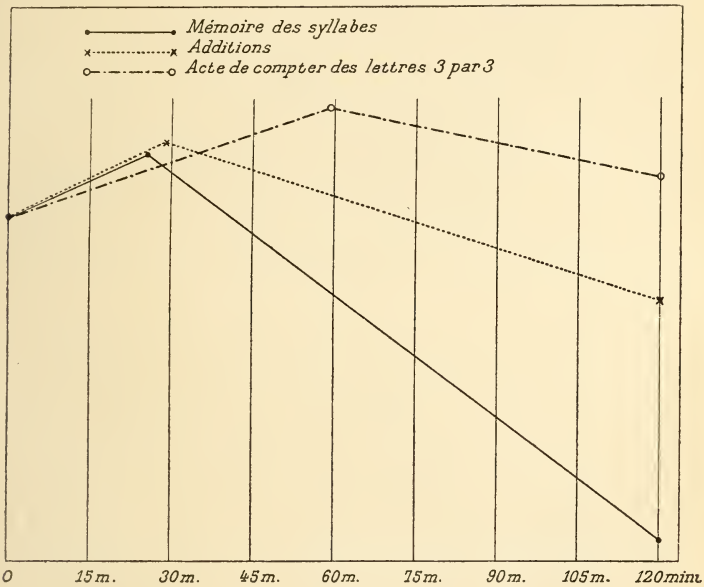

Fig. 76. — Cette figure schématique indique la marche générale de la vitesse de travail pour trois travaux différents. On remarque que le maximum de vitesse est atteint le plus rapidement pour la mémoire des syllabes, puis pour les additions et en troisième lieu pour l'acte de compter des lettres 3 par 3. La diminution de la vitesse au bout de 120 minutes est le plus forte pour la mémoire des syllabes, puis pour les additions, et enfin le moins forte pour l'acte de compter des lettres. C'est, on le voit, le même ordre dans les deux cas.

intellectuels différents : la mémoire des syllabes, les additions et l'acte de compter des lettres trois par trois.

Nous commençons au même point pour les trois travaux, et nous marquons le point de vitesse maximum et le degré de descente de cette vitesse par suite de la fatigue. En joignant ces points on obtient les trois courbes suivantes (fig. 76). On voit que pour la mémoire des syllabes le maximum est atteint après vingt-quatre minutes, pour les

additions ce maximum est atteint après vingt-huit minutes, enfin pour l'acte de compter des lettres il est atteint après cinquante-neuf minutes ; la place du maximum correspond à ces durées ; ainsi il est le plus bas pour la mémoire des syllabes et le plus haut pour l'acte de compter des lettres ; enfin la descente de la courbe est le plus forte pour la mémoire des syllabes et le plus faible pour l'acte de compter des lettres. Les lignes de descente pour les différents travaux ne sont pas parallèles entre elles, par conséquent le ralentissement de la vitesse de travail sous l'influence de la fatigue se fait le plus rapidement pour la mémoire des syllabes et le moins rapidement pour l'acte de compter des lettres.

Remarquons que de ces trois travaux intellectuels la mémoire des syllabes est le plus fatigant pour le sujet, l'acte de compter des lettres est le moins fatigant, tandis que les additions occupent le milieu. Les tracés précédents sont très caractéristiques et viennent en somme confirmer ce résultat donné par les remarques des sujets : le travail le plus fatigant augmente le moins en vitesse, le maximum est pour ce travail atteint plus vite que pour les autres travaux et sa vitesse diminue le plus sous l'influence de la fatigue ; le contraire a lieu pour le travail le plus facile, et enfin le travail de difficulté moyenne se trouve au milieu de ces deux extrêmes. Tel est le résultat général que nous apprend l'inspection des moyennes des tableaux précédents.

Examinons maintenant les différences individuelles, et à cette fin calculons la moyenne, pour chaque sujet, des résultats obtenus pour les sept travaux étudiés ; ces moyennes se trouvent indiquées dans les dernières colonnes des tableaux précédents (p. 243 et 244). Nous procéderons de la même manière que pour comparer les différents travaux intellectuels entre eux ; nous ordonnerons d'une part les sujets dans l'ordre correspondant au degré d'augmentation de la vitesse par suite de l'exercice, en

commençant par le sujet pour lequel l'augmentation est le plus forte ; ce sujet est E. D., pour lequel l'augmentation moyenne est égale à 19. D'autre part, nous ordonnons les dix sujets suivant le degré de diminution de la vitesse par suite de la fatigue, et ici nous commencerons par le sujet pour lequel cette diminution est le plus faible (c'est W., pour lequel la diminution de vitesse est égale à 7,8).

Enfin nous formons une troisième classification en ordonnant les sujets suivant le temps moyen nécessaire pour atteindre le maximum de vitesse ; ce temps moyen est calculé en se servant des chiffres du tableau de la page 240. Nous obtenons ainsi trois classifications que voici :

ORDONNÉS suivant le temps nécessaire pour atteindre le maximum.	ORDONNÉS suivant l'augmentation de la vitesse due à l'exercice.	ORDONNÉS suivant la diminution de la vitesse due à la fatigue.
1° E D.	1° E. D.	1° W.
2° K.	2° K.	2° E. D.
3° F.	3° F.	3° K.
4° W.	4° B.	4° M.
5° M.	5° W.	5° O.
6° H.	6° M.	6° F.
7° H. D.	7° H.	7° H.
8° O.	8° H. D.	8° B.
9° Frl. R.	9° O.	9° Frl. R.
10° B.	10° Frl. R.	10° H. D.

En comparant ces trois classifications entre elles, on voit qu'elles se ressemblent beaucoup et cette ressemblance est surtout très nette pour les deux premières classifications. Ceci signifie que les sujets qui en travaillant atteignent rapidement le maximum de vitesse ont une faible augmentation de la vitesse par suite de l'exercice et une forte diminution de la vitesse sous l'influence de la fatigue. C'est en somme un résultat identique à celui que nous avons trouvé pour les différents travaux intellectuels pris isolément.

On peut, comme précédemment, représenter graphiquement ce résultat ; nous prendrons donc trois sujets, E. D., H. et Frl. R., et nous construirons pour chaque sujet une

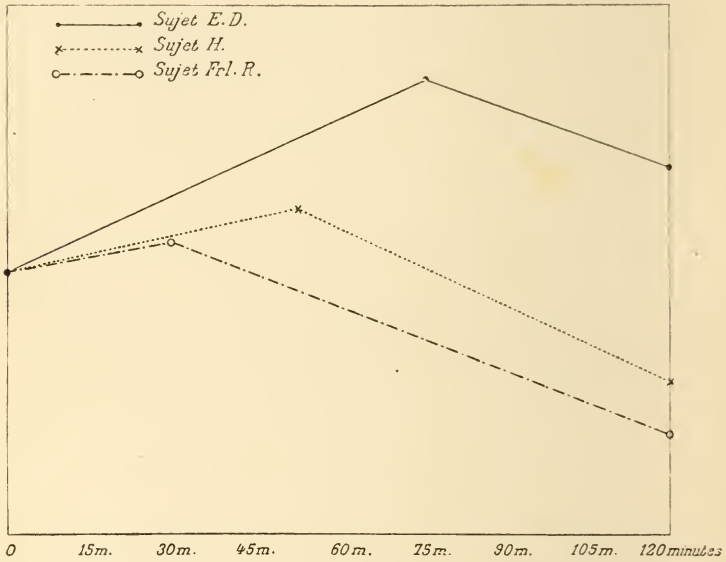

Fig. 77. — Cette figure schématique indique les différences individuelles dans la marche de la vitesse du travail. Le sujet E. D. atteint le maximum de vitesse le dernier, l'augmentation de la vitesse est chez lui le plus forte et la diminution de la vitesse à la fin est le plus faible. Le sujet Frl. R. atteint le maximum le premier, l'augmentation de la vitesse est le plus faible et la diminution de la vitesse au bout de 120 minutes est le plus forte.

courbe qui représente la manière dont ce sujet se comporte lorsqu'il travaille.

On voit que le premier sujet, E. D., travaille pendant un temps assez long, égal en moyenne à soixante-quinze minutes, avec une vitesse croissante ; l'augmentation par suite de l'exercice est chez lui plus considérable que chez les autres sujets ; après avoir dépassé le maximum, la vitesse diminue bien un peu, mais cette diminution est très faible.

Le dernier sujet, Frl. R., présente le contraire du précédent, il atteint vite (au bout de trente minutes) le maximum ; l'augmentation de vitesse par suite de l'exercice est chez lui faible, mais ensuite la vitesse diminue considérablement ; enfin le troisième sujet, H., représente un type intermédiaire.

Ce sont des différences individuelles très caractéristiques qui doivent probablement retentir sur d'autres phénomènes. Ces expériences montrent assez nettement qu'il faut distinguer les différents individus suivant la manière dont ils se fatiguent et s'exercent ; les uns, comme on voit, acquièrent peu par l'exercice pendant le travail et se fatiguent beaucoup, les autres au contraire font des progrès considérables et se fatiguent plus lentement. Il serait intéressant de poursuivre ces recherches avec d'autres travaux intellectuels ; on arriverait peut-être à des résultats d'une importance pratique.

Nous avons vu au commencement de l'analyse du travail de Œhrn que les différences individuelles pour la vitesse des différents travaux étaient très fortes ; on se demande naturellement si les sujets qui exécutent plus rapidement que les autres un certain travail sont aussi en avance pour d'autres travaux intellectuels et si la vitesse est une qualité générale. Nous allons examiner cette question ; elle présente une grande importance, car elle se trouve en relation directe avec une question plus générale, celle des rapports qui existent chez un individu entre différentes fonctions psychiques.

Donnons dans le tableau suivant les rangs que chaque sujet occupe dans chaque travail intellectuel ; nous représenterons par 1 le sujet qui a fait le travail plus vite que tous les autres sujets, par 10 celui qui l'a fait le plus lentement de tous.

On voit par exemple que le sujet K est le sixième en vitesse pour l'acte de compter des lettres ; il est le cinquième pour les additions et l'écriture, le sixième pour la

lecture, enfin le deuxième pour la mémoire des chiffres et des syllabes.

SUJETS	ORDRE DE CLASSEMENT DES SUJETS pour chacun des travaux suivants :						
	ACTE de compter des lettres une à une.	ACTE de compter des lettres trois par trois.	ADDITIONS	ÉCRITURE	LECTURE	MÉMOIRE des chiffres.	MÉMOIRE des syllabes.
K	6	6	5	5	6	2	2
H. D.	3	2	4	1	3	9	7
M	5	5	1	2	2	5	5
B	9	10	6	10	9	10	9
F	1	3	2	3	8	8	10
W	7	4	9	9	10	3	3
H	8	8	10	7	5	4	6
E. D.	10	9	7	8	1	7	8
Frl. R	4	7	8	6	4	6	4
O	2	1	3	4	7	1	1

Nous sommes donc en présence de sept classifications différentes ; comment déterminer s'il y a quelque rapport entre ces sept classifications ? Disons avant tout que la question n'a encore été étudiée jusqu'ici par aucun auteur ; on n'a pas encore proposé de méthode pour comparer deux ou plusieurs classifications différentes entre elles.

Nous allons proposer une méthode qui nous semble assez satisfaisante et qui peut être employée pour comparer un nombre aussi grand que l'on veut de classifications. Nous exposerons longuement cette méthode, puisque c'est pour la première fois que nous avons l'occasion d'en parler, et qu'elle peut rendre de grands services.

Prenons un exemple et supposons qu'il s'agit de comparer entre elles seulement deux classifications, celle de l'addition et celle de l'écriture. Les deux classifica-

tions sont les suivantes, comme le montre le tableau précédent :

Additions.	5, 4, 1, 6, 2, 9, 10, 7, 8, 3
Ecriture.	5, 1, 2, 10, 3, 9, 7, 8, 6, 4

Pour plus de clarté classons la première série dans l'ordre naturel de 1 à 10 et écrivons au-dessous l'ordre qui résulte après ce changement pour la classification d'après l'écriture :

Additions.	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Ecriture.	2, 3, 4, 1, 5, 10, 8, 6, 9, 7

Ceci veut dire que le sujet qui est le premier pour les additions est le deuxième pour l'écriture; celui qui est le dixième pour les additions est le septième pour l'écriture, etc. Un simple coup d'œil suffit pour montrer qu'il y a une ressemblance entre ces deux classifications ; ainsi les cinq premiers pour les additions se trouvent aussi parmi les cinq premiers pour l'écriture, et les cinq derniers pour les additions se trouvent parmi les cinq derniers pour l'écriture ; mais il peut arriver que cette ressemblance ne soit pas aussi nette que dans le cas présent, et enfin il est important de pouvoir exprimer le degré de ressemblance des deux séries par un nombre, pour être libre de l'appréciation subjective qui peut souvent amener des erreurs graves. Voici comment nous croyons qu'on peut procéder avec profit.

Calculons pour chaque sujet la place moyenne qu'il occupe si on tient également compte des deux classifications; ceci revient à calculer la moyenne arithmétique des nombres qui se trouvent les uns au-dessous des autres ; nous obtenons de cette manière la série suivante :

1,5 ; 2,5 ; 3,5 ; 2,5 ; 5 ; 8 ; 7,5 ; 7 ; 9 ; 8,5

C'est un ordre moyen qui est donné par les deux classifications précédentes; cette nouvelle classification ne cor-

respond ni à celle de l'addition ni à celle de l'écriture. On peut donc se demander si on peut remplacer les deux classifications précédentes par cette classification unique ou non. Nous répondons à cette question en disant que si la différence entre cette nouvelle classification et chacune des deux précédente est forte, on ne peut pas remplacer les deux classifications précédentes par une seule. Si au contraire cette différence est faible, on pourra avantageusement remplacer les deux classifications par une seule classification moyenne, et de plus affirmer qu'il y a une relation entre la classification par rapport aux additions et celle de l'écriture. Tout revient donc à chercher en quoi diffère cette nouvelle classification moyenne des deux précédentes. Pour le faire, calculons de combien chaque nombre de chacune des classifications diffère du nombre correspondant de la classification moyenne ; nous obtenons les nombres suivants :

Additions. . .	0,5 ;	0,5 ;	0,5 ;	1,5 ;	0 ;	2 ;	0,5 ;	1 ;	0 ;	1,5
Ecriture . . .	0,5 ;	0,5 ;	0,5 ;	1,5 ;	0 ;	2 ;	0,5 ;	1 ;	0 ;	1,5

On remarque que les différences sont les mêmes pour les deux séries ; cela tient à ce que nous n'avons pris que deux classifications ; s'il y en avait eu plus, il n'en aurait pas été ainsi.

Faisons la somme de toutes les différences précédentes, c'est-à-dire des 20 différences ; cette somme est égale à 16 ; par conséquent, la valeur moyenne de chaque différence est égale à 16 divisé par 20, c'est-à-dire à 0,8 ; nous désignons ce nombre par un nom spécial, puisque c'est ce nombre qui caractérise le degré de différence et par conséquent aussi le degré de ressemblance de deux ou plusieurs séries, nous l'appelons donc *coefficient de différence* des deux classifications étudiées.

Que signifie ce nombre 0,8 ? Nous apprend-il que la différence des deux classifications est grande, ou petite ? Voyons les cas qui peuvent se présenter lorsqu'on compare deux

classifications entre elles. Ces classifications peuvent être d'abord identiques : dans ce cas, le coefficient de différence est égal à 0; d'autre part, ces classifications peuvent être complètement différentes l'une de l'autre, de sorte que l'une représente juste l'ordre renversé de l'autre; dans le cas présent où il y a 10 sujets, on aurait donc les deux classifications suivantes :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Et si on calcule pour ces deux classifications le coefficient de différence, on trouve qu'il est égal à 2,5; c'est la valeur maximum de ce coefficient, et cette valeur maximum indique que les deux classifications sont l'inverse l'une de l'autre. Nous voilà donc en possession de deux termes de comparaison qui nous indiquent les valeurs du coefficient de différence dans deux cas extrêmes, celui de l'identité et celui de plus grande différence entre les deux classifications. Nous pouvons donc maintenant avoir une certaine idée de la signification du coefficient 0,8 ; il représente une ressemblance assez forte des deux classifications entre elles.

Mais on peut nous objecter que si la différence entre deux classifications est très forte, cette différence prouve aussi un certain rapport entre les deux classifications; seulement, au lieu d'être un rapport direct, c'est un rapport inverse, c'est-à-dire ceux qui sont les premiers dans un cas sont les derniers dans l'autre, et réciproquement. On peut donc avoir affaire à deux classifications dont le coefficient de différence serait assez grand, égal à 1,8 par exemple, et ne pas savoir si ce coefficient signifie qu'il n'y a pas de rapport du tout entre les deux classifications ou qu'il y a un rapport inverse. La difficulté est facile à éviter; prenons encore un exemple qui nous fera mieux comprendre la méthode à employer. Prenons la classifica-

tion donnée par l'addition et celle donnée par la mémoire des chiffres :

Mémoire des chiffres. . .	2, 9, 5, 10, 8, 3, 4, 7, 6, 1
Additions.	5, 4, 1, 6, 2, 9, 10, 7, 8, 3

Le coefficient de différence pour ces deux classifications est égal à 1,9.

Dans la classification précédente on représente par 1 le sujet qui fait le plus vite les additions ou qui apprend le mieux les chiffres par cœur; il semble que la relation entre les deux séries n'existe pas ou du moins est très faible; on pourrait se demander s'il n'y a pas de relation inverse, c'est-à-dire si les sujets qui sont les derniers en addition ne seraient pas les premiers pour la mémoire des chiffres; remplaçons la classification de l'addition par une classification inverse dans laquelle nous représentons par I le sujet qui fait le plus lentement les additions. Nous obtenons les deux séries suivantes :

Mémoire des chiffres .	2, 9, 5, 10, 8, 3, 4, 7, 6, 1
Additions renversées .	VI, VII, X, V, IX, II, I, IV, III, VIII

Calculons pour ces deux séries le coefficient de différence; nous obtenons 1,7, c'est-à-dire un nombre peu différent de 1,9. Nous concluons donc qu'il n'y a pas de relation entre la classification donnée par les additions et celle donnée par la mémoire des chiffres; les deux séries peuvent être considérées comme indépendantes l'une de l'autre.

C'est ainsi qu'on procédera toutes les fois qu'il y aura doute. La méthode que nous avons décrite plus haut est une méthode générale qui peut être appliquée simultanément à autant de classifications que l'on veut ; nous donnerons plus loin un exemple de l'application pour comparer entre elles quatre classifications simultanément. Lorsqu'on n'aura que deux classifications à comparer, on pourra employer une méthode de calcul plus rapide que celle que

nous venons d'exposer, mais cette méthode abrégée ne s'applique qu'à deux classifications.

Prenons un exemple; la classification donnée par la mémoire des chiffres et celle donnée par la mémoire des syllabes sont les suivantes :

Mémoire des chiffres . . 2, 9, 5, 10, 8, 3, 4, 7, 6, 1
Mémoire des syllabes . . 2, 7, 5, 9, 10, 3, 6, 8, 4, 1

Calculons les différences des nombres placés les uns au-dessous des autres; on a :

0, 2, 0, 1, 2, 0, 2, 1, 2, 0

Faisons la somme de ces différences, on obtient 10, et divisons cette somme par 20, nous obtenons le coefficient de différence. On a ainsi 0,5 pour valeur de ce coefficient; ce qui montre qu'il y a une grande ressemblance entre la classification donnée par la mémoire des chiffres et celle de la mémoire des syllabes.

CLASSIFICATIONS COMPARÉES ENTRE ELLES		VALEURS du coefficient de différence.
Mémoire des chiffres . . .	Mémoire des syllabes . . .	0,5
Acte de compter des lettres une à une.	Acte de compter des lettres trois par trois	0,6
Additions	Ecriture	0,75
Acte de compter des lettres trois par trois.	Ecriture	0,8
Acte de compter des lettres une à une.	Additions	1,1
Acte de compter trois par trois.	Additions	1,2
Ecriture.	Lecture	1,2
Compter trois par trois . .	Mémoire des chiffres . . .	1,2
Ecriture	Mémoire des chiffres . . .	1,5
Compter une à une. . . .	Lecture	1,5
Additions	Lecture	1,6
Compter trois par trois . .	Lecture	1,8
Mémoire des chiffres . . .	Lecture	1,8
Mémoire des chiffres . . .	Additions	1,9

Nous avons calculé les valeurs des coefficients de différences pour les différentes classifications, et nous rapportons dans la suite ces valeurs ; nous avons dans chaque cas comparé deux classifications entre elles et nous rangeons dans le tableau page 255 ces comparaisons par ordre de ressemblance, c'est-à-dire en commençant par celles qui ont le plus petit coefficient de différence.

La ressemblance est donc le plus forte entre la mémoire des chiffres et la mémoire des syllabes, entre l'acte de compter des lettres une à une et l'acte de les compter trois par trois, entre les additions et l'écriture, l'acte de compter des lettres trois par trois et l'écriture. Au contraire on peut dire qu'il n'y a pas de relation entre les classifications données par l'acte de compter des lettres trois par trois et la lecture, ou par la mémoire des chiffres et la lecture, ou enfin par la mémoire des chiffres et les additions.

On voit qu'au moyen de la méthode précédente nous pouvons non seulement dire s'il y a une ressemblance ou non, mais même exprimer le degré de cette ressemblance par un nombre indépendant de l'appréciation subjective.

Jusqu'ici nous n'avons comparé les différentes classifications que deux par deux ; faisons maintenant la comparaison entre plusieurs classifications simultanément. Le tableau précédent nous montre que l'on peut réunir les quatre travaux intellectuels suivants : 1° acte de compter les lettres une à une ; 2° acte de compter les lettres trois par trois ; 3° additions ; 4° écriture.

En effet, entre les classifications données par chacun de ces travaux intellectuels il existe une ressemblance assez forte lorsqu'on les compare deux à deux ; nous avons les coefficients de différence suivants :

0,6 ; 0,8 ; 0,75 ; 1,1 ; 1,2

Si à ce groupe de quatre travaux nous ajoutons encore

la lecture, nous ajouterons alors les coefficients de différence suivants :

1,2 ; 1,5 ; 1,6 ; 1,8

qui sont bien supérieurs aux précédents et qui indiquent qu'il n'y a pas de relation entre la classification donnée par la lecture et celle donnée par les quatre fonctions précédentes.

Si nous ajoutons aux quatre travaux précédents la mémoire des chiffres, nous ajoutons par cela même les coefficients 1,9; 1,2; 1,5 qui indiquent de nouveau qu'il n'y a pas de relation entre la mémoire des chiffres et ces quatre travaux intellectuels.

Ces raisons suffisent pour montrer qu'il faut considérer ensemble les quatre travaux précédents, qui doivent ainsi former un groupe; comme deuxième groupe on prendra la mémoire des chiffres et la mémoire des syllabes, et enfin, en troisième lieu on considère la lecture.

Les classifications données par les quatre travaux du premier groupe sont :

Acte de compter un à un	6	3	5	9	1	7	8	10	4	2
Acte de compter trois à trois. . . .	6	2	5	10	3	4	8	9	7	1
Additions.	5	4	1	6	2	9	10	7	8	3
Ecriture	5	1	2	10	3	9	7	8	6	4

Calculons la moyenne pour chaque sujet des quatre nombres correspondants, nous obtenons la *classification moyenne* suivante :

5,5 ; 2,5 ; 3,25 ; 8,75 ; 2,25 ; 7,25 ; 8,25 ; 8,5 ; 6,25 ; 2,5

Calculons la différence pour chaque nombre avec le nombre moyen correspondant et faisons la somme de toutes les différences, il y a 40 différences; la somme est égale à 43, donc le coefficient de différence est égal à 43 divisé par 40, c'est-à-dire à 1,07.

Si au lieu de prendre ensemble les quatre travaux intel-

lectuels, on avait encore ajouté la lecture, on aurait eu un coefficient de différence plus fort égal à 1,46, ce qui prouve encore une fois que la lecture ne peut pas être ajoutée au groupe des quatre travaux précédents.

Enfin pour le deuxième groupe composé de la mémoire des chiffres et de la mémoire des syllabes nous avons vu que le coefficient de différence était égal à 0,5.

En résumé, si nous considérons les sept travaux intellectuels précédents, nous pouvons les partager en trois groupes différents ; les classifications moyennes dans chacun de ces groupes sont les suivantes :

1er GROUPE Compter un à un, compter trois à trois, additions, écriture.	2e GROUPE Lecture.	3e GROUPE Mémoire des chiffres et des syllabes.
1° F.	1° E. D.	1° O
2° H. D. } égaux.	2° M.	2° K.
3° O. } égaux.	3° H. D.	3° W.
4° M.	4° Frl. R.	4° M.
5° K.	5° H.	5° H. } égaux.
6° Frl. R.	6° K.	6° Frl. R. } égaux.
7° W.	7° O.	7° E. D.
8° H.	8° F.	8° H. D.
9° E D.	9° B.	9° F.
10° B.	10° W.	10° B.

Ces trois classifications sont différentes l'une de l'autre. Il ne faudrait certainement pas fonder sur ces résultats des conclusions générales, puisque les conditions dans lesquelles les expériences précédentes ont été faites sont très artificielles ; mais ce qui est important, c'est la méthode d'étude ; le travail d'Œhrn montre que sur des adultes les exercices choisis par lui permettent de voir des différences individuelles caractéristiques et pour la rapidité de travail et pour la manière de se fatiguer ou de s'exercer. La signification psychologique de ces différences psychologiques ne peut pas encore être donnée, il faut attendre d'autres

recherches faites sur d'autres travaux intellectuels avec un nombre plus grand de personnes.

Nous nous sommes longuement arrêtés sur le travail de Œhrn, mais nous ne nous sommes pas contentés de présenter un résumé de son travail, nous avons cherché à étudier les chiffres rapportés en entrant dans plus de détails que l'auteur ne le fait lui-même ; bien des raisonnements et quelques-uns des résultats que nous avons présentés plus haut ne se trouvent pas dans le travail original.

CHAPITRE III

RECHERCHES DE LABORATOIRE

INFLUENCE DES PAUSES DE REPOS SUR LE TRAVAIL INTELLECTUEL

Nous avons vu précédemment que lorsqu'on fait un certain travail continu pendant un temps assez long, deux facteurs principaux influent sur la vitesse de travail, ce sont l'*exercice* acquis et la *fatigue ;* ces deux facteurs agissent en sens contraire sur la vitesse. Si après deux heures de travail on s'arrête et qu'on se repose quelques heures, la fatigue disparaît complètement, à moins qu'elle n'ait été extrêmement intense, ce qui, en général, n'arrive pas dans les cas étudiés ici ; mais l'exercice acquis ne disparaît pas, et si après ce repos de quelques heures on commence à travailler de nouveau, la vitesse avec laquelle on commence à travailler est supérieure à la vitesse de travail de la première séance. Œhrn a déjà dans quelques expériences isolées trouvé ce fait ; il était intéressant d'étudier la question de plus près, de voir combien de temps de repos il fallait pour supprimer la fatigue et de voir si l'exercice acquis persiste un temps indéfini, ou s'il se perd lorsqu'on cesse de travailler pendant un certain nombre d'heures ou de jours. Ce sont ces questions qui ont été étudiées par Amberg[1] en 1896.

Les expériences ont été faites sur deux sujets ; il y a seu-

[1] Amberg. *Ueber den Einfluss der Arbeitspausen auf die geistige Leistungsfähigkeit* (Psychologische Arbeiten). I, p. 300-377.

lement quelques expériences isolées qui ont été faites sur un plus grand nombre de personnes. Les travaux intellectuels choisis par l'auteur ont été les additions et la mémoire des chiffres ; nous avons vu plus haut comment ces expériences sur les additions et la mémoire des chiffres sont faites ; nous n'y revenons donc pas.

La première question était d'étudier quelle influence un repos court pouvait avoir sur la vitesse de travail. Voici comment l'auteur a fait les expériences : chaque série d'expériences se compose de huit jours successifs ; chaque jour, à la même heure, le sujet doit, soit faire des additions, soit apprendre par cœur des séries de douze chiffres. Les jours impairs (premier, troisième, cinquième, septième) le sujet doit faire le travail pendant une heure sans s'interrompre ; les jours pairs (deuxième, quatrième, sixième, huitième) il faisait le travail pendant un certain temps, puis se reposait pendant un temps déterminé, travaillait de nouveau, et ainsi de suite. On avait de cette manière la possibilité de contrôler les résultats obtenus les jours pairs par ceux que l'on obtenait les jours impairs, et aussi de déterminer plus exactement l'influence produite par le repos.

Cinq séries de huit jours chacune ont été faites ; pendant chaque série d'expériences, le sujet menait une vie aussi régulière que possible pour écarter les influences que pourraient produire des causes externes variables. Voici quelles étaient ces cinq séries :

Première série. — Les jours pairs, le sujet faisait des additions pendant une demi-heure, puis se reposait pendant *cinq* minutes et faisait encore des additions pendant une demi-heure.

Deuxième série. — Les jours pairs, le sujet faisait des additions pendant cinq minutes, puis se reposait cinq minutes, puis calculait de nouveau pendant cinq minutes, et ainsi de suite pendant deux heures en faisant tou-

jours suivre cinq minutes de travail par cinq minutes de repos.

Troisième série. — Les jours pairs, le sujet faisait des additions pendant une demi-heure, puis se reposait quinze minutes et puis calculait de nouveau pendant une demi-heure.

Quatrième série. — Les jours pairs, le sujet faisait des additions pendant une heure, puis se reposait pendant quinze minutes et calculait encore pendant une heure.

Cinquième série. — Les jours pairs, le sujet apprenait des séries de chiffres par cœur pendant une demi-heure, puis se reposait pendant quinze minutes et travaillait encore pendant une demi-heure.

Voyons les résultats obtenus. Un résultat très net est que la vitesse de travail augmente continuellement de jour en jour ; l'exercice que l'on acquiert pendant une heure de travail se conserve jusqu'au lendemain, et même après trente-huit heures d'intervalle il ne diminue pas ; ce n'est qu'après des repos de quarante-sept et de soixante-douze heures que l'auteur a observé une perte de l'exercice acquis.

Les influences produites par les pauses courtes ne sont pas très nettes ; il semble qu'un repos de cinq minutes après une demi-heure d'additions est favorable, c'est-à-dire on calculait un peu plus vite dans la seconde demi-heure les jours où il y avait repos, que les jours de contrôle où il n'y en avait pas.

Cette influence est très faible ; pour le montrer nous la représentons sur le graphique suivant, sur lequel sont portés en abscisses les différents jours de travail et en ordonnées les quantités de travail fait pendant une demi-heure. Nous avons d'abord tracé la courbe qui représente les quantités de travail pendant la première demi-heure de tous les jours, c'est le trait plein. Ensuite nous représenterons par une petite croix les quantités de travail fait dans

la deuxième demi-heure des jours *sans* repos, et par un petit cercle les quantités de travail dans la deuxième demi-heure des jours avec repos de cinq minutes. Nous réunis-

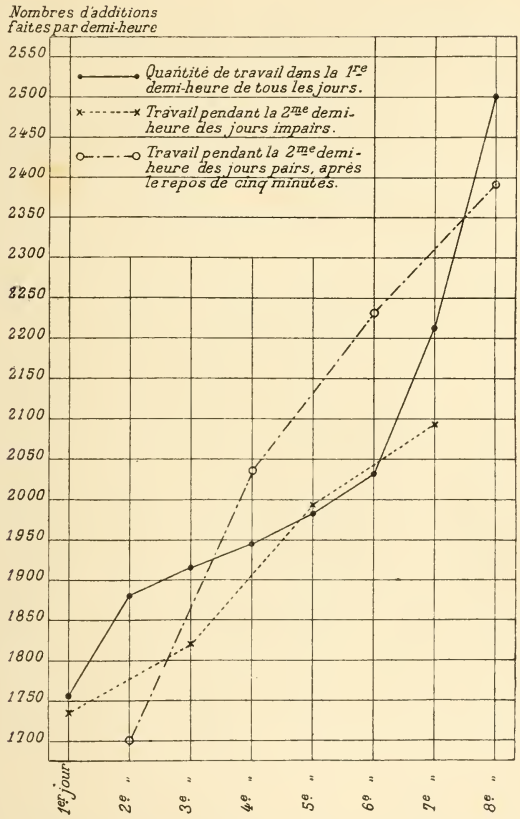

Fig. 78. — Expériences d'Amberg sur l'influence produite par les pauses de repos sur la vitesse des additions.

sons entre elles les croix par un pointillé et les cercles par une ligne interrompue (—.—.—.). Pour voir l'influence produite par le repos il faut comparer ces deux lignes entre elles ; on voit que la ligne interrompue est au-dessus de la ligne pointillée, ce qui veut dire que les jours avec repos

on a mieux travaillé dans la deuxième demi-heure que les jours sans repos.

Si on examine la marche de la ligne pleine, on voit qu'elle monte continuellement, c'est une preuve que l'exercice acquis pendant une heure de travail ne se perd pas après vingt-quatre heures de repos.

Les expériences de la troisième série ont montré que après une demi-heure d'additions une pause de quinze minutes n'a ni une influence favorable ni une influence défavorable. Cette série d'expériences a été faite juste un an après la première, il est bien difficile de comparer les résultats de ces deux séries entre elles ; une chose peut être certaine, c'est que s'il y a une influence produite par une pause de quinze minutes, cette influence n'est pas nette.

Lorsqu'au lieu de mettre la pause de repos après une demi-heure, on la place après une heure d'additions (quatrième série), on remarque une influence favorable produite par ce repos.

Si le travail consiste à apprendre par cœur des séries de chiffres, un repos de quinze minutes après une demi-heure de travail est favorable.

Enfin, si après cinq minutes de travail on se repose cinq minutes et qu'on travaille ensuite de nouveau cinq minutes et ainsi de suite pendant deux heures, le repos de cinq minutes a une influence défavorable au commencement du travail et influe au contraire dans un sens favorable vers la fin.

Donnons quelques chiffres pour montrer jusqu'à quel point les résultats précédents sont nets et pour montrer comment ont été calculés les résultats ; cette dernière question n'est pas simple. Prenons un exemple dans les chiffres d'Amberg : le sujet fait des additions pendant une heure sans interruption les jours impairs, et il se repose quinze minutes après la première demi-heure des jours pairs. Voici les nombres d'additions faites pendant les deux demi-heures des huit jours de travail :

	Sans repos.	Avec repos.	Sans repos.	Avec repos.	Sans repos.	Avec repos.	Sans repos.	Avec repos.
1re demi-heure.	1.021	1.426	1.526	1.435	1.451	1.617	1.805	2.096
2e —	1.265	1.442	1.499	1.461	1 464	1.677	1.947	2.044

On voit d'abord que les nombres d'additions augmentent considérablement du premier au huitième jour ; de plus, toujours, sauf le troisième jour, qu'il y ait un repos de quinze minutes ou qu'il n'y en ait pas, dans la deuxième demi-heure on a calculé plus que dans la première ; si on examine les différences entre les deux demi-heures, on ne voit pas se dégager de régularité ; en effet, ces différences sont :

Les jours sans repos . . . . + 244 ; — 27 ; + 13 ; + 142
Les jours avec repos . . . . + 16 ; + 26 ; + 60 ; + 38

L'auteur porte l'attention sur les augmentations dans les nombres d'additions d'un jour à l'autre ; ces augmentations sont dues à l'exercice acquis pendant une heure de calcul ; il cherche à déterminer l'augmentation moyenne par jour due à l'exercice. Montrons sur un exemple plus simple comment cette augmentation moyenne est calculée ; supposons qu'on fasse pendant quatre jours les nombres d'additions suivants : 100, 105, 112, 120. Les augmentations de jour en jour sont 5, 7, 8 ; les augmentations de deux jours en deux jours sont 12 et 15 ; enfin, l'augmentation de trois jours est 20 ; on calcule l'augmentation moyenne par jour en se servant de toutes ces différences : ainsi de l'augmentation de deux jours en deux jours on déduit en divisant par 2 l'augmentation de jour en jour, et de même en divisant l'augmentation de trois jours par 3 ; on a donc les valeurs suivantes pour les augmentations de jour en jour : 5, 7, 8 $\frac{12}{2}$, $\frac{5}{2}$, $\frac{20}{3}$; on prend la moyenne arithmétique de

tous ces nombres, elle est égale à 6,7 ; c'est cette grandeur qui est appelée par l'auteur « l'augmentation moyenne » par jour ; connaissant cette augmentation moyenne, on peut calculer pour chaque jour combien on devrait obtenir de nombres de calculs ; ainsi, le deuxième jour, on devrait avoir 106 additions ; le troisième, 113 ; le quatrième, 120, etc.

L'auteur calcule cette augmentation moyenne d'abord pour les jours de contrôle (sans repos) ; se servant de cette grandeur calculée, il peut calculer le nombre d'additions qu'il faudrait s'attendre à obtenir les jours avec repos ; puis il compare ces nombres calculés aux nombres obtenus en réalité. Voici ces nombres pour le cas présent :

	JOURS de contrôle.	JOURS AVEC REPOS	
		Calculés.	Obtenus.
1re demi-heure. . . .	5.803	6.407	6.484 (101,2 p. 100)
2e — . . .	6.175	6.638	6.624 (99,8 —)

Dans le tableau précédent, tous les jours de contrôle et tous les jours avec repos sont réunis ; on voit que les nombres d'additions faites en réalité diffèrent peu des nombres calculés ; il semble qu'on devrait en conclure que le repos de quinze minutes n'a pas d'influence ; l'auteur se contente de différences aussi faibles, qui n'atteignent même pas 1 p. 100, pour en déduire que le repos de quinze minutes a une influence nuisible. Nous ne croyons pas que l'auteur soit en droit de faire des conclusions pareilles fondées sur des chiffres aussi faibles et aussi artificiels ! Il oublie la règle générale enseignée par le calcul des probabilités, qu'il faut prendre des nombres de détermination aussi grands que possible et qu'il existe une limite pour toute précision ; pourquoi n'a-t-il pas calculé l'erreur pro-

bable dans chaque cas et n'a-t-il pas étudié de plus près si les écarts observés dépassent l'écart probable ou ne le dépassent pas ? Si on se sert du calcul de probabilité dans le calcul de la moyenne, il faut aussi mener les calculs à bout et voir la valeur de la *précision ;* on n'a pas besoin de faire de calculs pour voir que l'erreur probable dépassera de beaucoup les écarts observés. C'est un manque de méthode grave, qui se rencontre dans tout le travail d'Amberg et aussi dans celui de Rivers et Kræpelin.

La plupart des résultats énoncés plus haut sont déduits de différences très faibles, ne dépassant qu'exceptionnellement 8 p. 100 ; le nombre d'expériences est trop faible pour permettre d'appliquer avec autant de précision le calcul des probabilités. En somme, les résultats énoncés plus haut peuvent peut-être être considérés comme probables ; mais dans aucun cas ils ne peuvent être considérés comme sûrs ; il faudrait, pour les démontrer, calculer dans tous les cas les valeurs des erreurs probables et voir si les écarts obtenus les dépassent.

Nous avons calculé pour le cas précédent la valeur de l'erreur probable pour l'augmentation moyenne des premières demi-heures dans les jours de contrôle (sans repos) ; la valeur de l'augmentation moyenne pour les premières demi-heures est pour les jours de contrôle égale à 101, ce sont les 10 p. 100 du nombre d'additions faites la première demi-heure (= 1021). La valeur de l'erreur probable calculée est égale à 50, ce sont les 5 p. 100 du nombre d'additions faites la première demi-heure ; par conséquent, lorsque les augmentations observées de jour en jour sont comprises entre 10 ± 5 p. 100, c'est-à-dire entre 15 p. 100 et 5 p. 100 du nombre d'additions du premier jour, il y a une plus forte probabilité que ces écarts sont dus au hasard qu'à une cause quelconque. En se servant de la valeur de l'augmentation moyenne, on trouve comme nombre d'additions qu'on devrait s'attendre à obtenir dans les premières demi-heures des jours avec repos 6 407 addi

tions, et l'erreur probable est égale à $\pm$ 290 ; c'est-à-dire que, si on trouve en réalité un nombre d'additions compris entre 6 117 et 6 697, on pourra, avec une probabilité *supérieure* à $\frac{1}{2}$, affirmer que ce nombre est dû au hasard ; or, l'auteur trouve un nombre d'additions égal à 6 484.

La critique précédente s'applique aussi au travail de Rivers et Kræpelin ; ces auteurs ont aussi calculé les nombres d'additions qu'il faudrait s'attendre à obtenir et de la divergence entre ces nombres calculés et les nombres observés en réalité ; ils ont déduit des conclusions très générales sur la fatigue et le repos ; or, ils n'ont pas calculé les erreurs probables ; par conséquent, les résultats ne peuvent pas être considérés comme démontrés ; il est vrai que les écarts observés dépassent en général ceux d'Amberg, mais les auteurs déduisent leurs conclusions aussi bien des écarts grands que des écarts faibles ; c'est une erreur grave qui diminue de beaucoup la valeur de leur travail.

Amberg explique ses résultats en admettant qu'indépendamment de l'exercice et de la fatigue il existe un troisième facteur que l'on peut appeler l'*entraînement ;* c'est l'état dans lequel on se trouve lorsqu'on fait quelque travail pendant un temps assez long avec beaucoup d'énergie ; il faut un certain temps pour acquérir cet entraînement; ce temps est probablement dans le cas présent supérieur à cinq minutes, voilà pourquoi dans la deuxième série un repos de cinq minutes intercalé après chaque cinq minutes de travail est défavorable. D'un autre côté, cet état émotif est intimement lié au travail même, et si on interrompt le travail pendant un temps assez long, l'entraînement acquis disparaît ; c'est ainsi que l'auteur explique pourquoi un repos de quinze minutes après une demi-heure de travail a une influence défavorable.

Cet entraînement subsiste tant que la fatigue n'est pas très développée, mais à mesure que la fatigue augmente l'entraînement disparaît, et à ce moment un repos de

quelques minutes sert à faire diminuer l'état de fatigue; c'est ainsi qu'un repos de quinze minutes après une heure de travail est favorable.

Tels sont les résultats obtenus par Amberg; l'explication précédente que l'auteur donne est intéressante et mérite d'être notée ; mais répétons encore une fois qu'il y a eu trop peu de sujets, on a fait trop peu d'expériences, de sorte que les résultats énumérés plus haut ne doivent servir que comme l'indication d'une direction à suivre pour des recherches ultérieures.

Un travail analogue au précédent a été fait par Rivers et Kræpelin[1] ; seulement, au lieu d'étudier l'influence des pauses courtes de repos, ils ont cherché à déterminer l'influence produite par un repos d'une demi-heure ou d'une heure entière après un travail d'une demi-heure. Dans la première série, se composant de huit jours successifs, le sujet devait, les jours impairs (premier, troisième, cinquième, septième), faire des additions pendant une demi-heure, puis se reposer une demi-heure, puis calculer de nouveau pendant une demi-heure, se reposer encore, puis calculer encore pendant trente minutes, se reposer et enfin calculer pour la dernière fois pendant une demi-heure. Les jours pairs (deuxième, quatrième, sixième, huitième) servaient de contrôle ; le sujet ne devait ces jours-là faire des additions que pendant une demi-heure.

Dans la deuxième série, qui se composait de six jours, les pauses de repos étaient de une heure entière, le reste était identique à la disposition de la première série.

Les résultats obtenus sur un seul sujet sont assez nets : lorsqu'on compte les quantités d'additions faites par quart d'heure, on remarque d'abord que dans le deuxième quart d'heure on a fait plus d'additions que dans le premier ; puis vient un repos de trente minutes; après ce repos le travail fait pendant le quart d'heure qui suit le repos est supérieur

[1] Rivers et Kræpelin. *Ueber Ermüdung und Erholung* (Psychologische Arbeiten). I, p. 627-678.

au travail fait dans le quart d'heure avant le repos ; le repos de trente minutes a donc eu une influence favorable ; par conséquent on a fait plus de travail dans le troisième quart

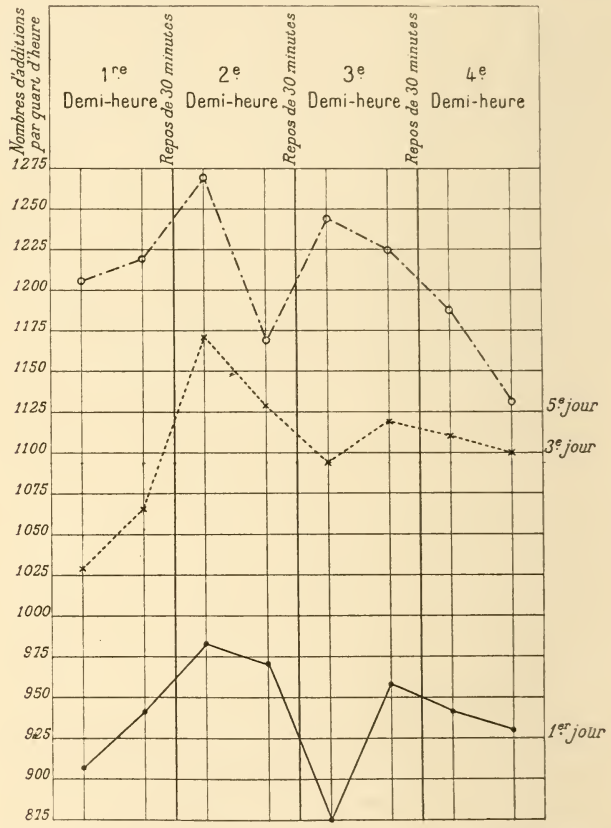

Fig. 79. — Expériences de Rivers et Kræpelin montrant l'influence des pauses de repos de 30 minutes sur la vitesse des additions.

d'heure que dans le deuxième. Pour plus de clarté nous donnons un schéma de la durée de l'expérience avec division en quarts d'heure :

Premier quart d'heure, deuxième quart d'heure, *repos de trente minutes*, troisième quart d'heure, quatrième quart

d'heure, *repos de trente minutes*, cinquième quart d'heure, sixième quart d'heure, *repos de trente minutes*, septième quart d'heure, huitième quart d'heure.

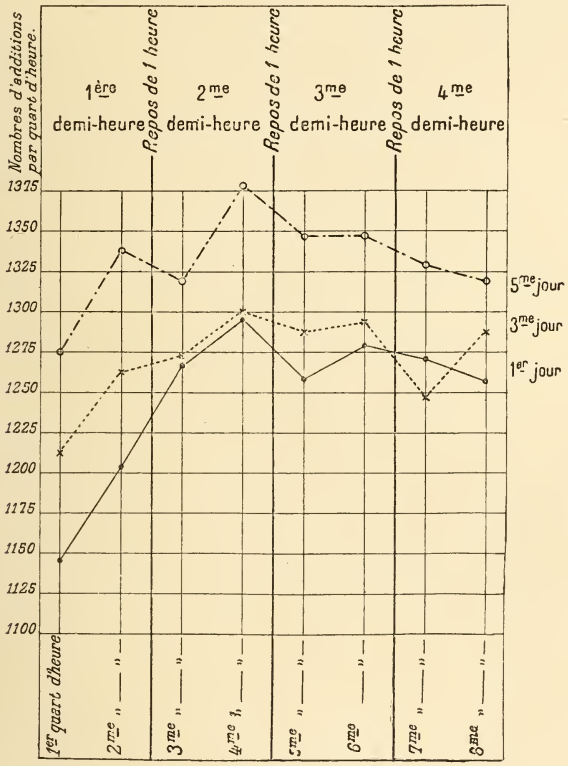

Fig. 80. — Expériences de Rivers et Kræpelin montrant l'influence de pauses de repos de 1 heure sur la vitesse des additions.

Pendant le quatrième quart d'heure on a fait moins de calculs que pendant le troisième, par conséquent il y a eu une influence de fatigue pendant la deuxième demi-heure de travail.

Après le deuxième repos pendant le cinquième quart d'heure on a une fois sur trois gagné un peu sur la quantité

de travail faite pendant le quatrième quart d'heure. La deuxième demi-heure n'a pas suffi pour faire disparaître la fatigue ; enfin le dernier repos ne suffit pas non plus puisque pendant le septième quart d'heure on a fait moins de calculs que pendant le sixième.

Ces résultats sont représentés sur le graphique 79, dans lequel les lignes verticales indiquent les moments de repos.

Des résultats un peu différents ont été obtenus dans la deuxième série avec des pauses de repos d'une heure. Ces résultats sont représentés sur le graphique 80.

La différence essentielle est que lorsque après une heure de repos on calcule pendant une demi-heure, la quantité de travail fait pendant les premières quinze minutes est moindre que la quantité de travail fait pendant les dernières quinze minutes, par conséquent la fatigue ne prédomine pas sur l'exercice vers la fin de la demi-heure de travail. Nous avons vu que lorsque le repos n'était que de trente minutes, la fatigue prédominait vers la fin de la demi-heure. On peut facilement constater ce résultat sur le graphique 80 ; toujours, à une exception près, il y a eu plus de travail fait pendant les quarts d'heure d'ordre pair que pendant les quarts d'heure impairs ; tandis que dans le graphique de la figure 79, si on ne compte pas les deux premiers quarts d'heure qui sont au commencement, sept fois dans les quarts d'heure pairs on a fait *moins* de travail que dans les quarts d'heure impairs, et seulement deux fois l'inverse a eu lieu.

Si on examine les courbes du graphique 80 on voit que le maximum de travail est atteint dans le quatrième quart d'heure, tandis que dans le graphique de la première série (fig. 79) le maximum était atteint dans le troisième quart d'heure.

Ces résultats indiquent assez nettement qu'il y a une différence entre un repos de trente minutes et un repos d'une heure ; que la première fois, après trente minutes de calcul, le repos suffit pour rétablir les effets de fatigue, mais après

deux demi-heures de calcul ou plus ce repos ne suffit déjà plus.

Ces expériences de Kræpelin et de ses élèves nous montrent qu'il se produit pendant un travail intellectuel des modifications assez fortes de la vitesse de travail ; ces modifications peuvent nous indiquer si l'individu est plus ou moins fatigué, enfin elles peuvent servir en quelque sorte de caractéristique pour un individu, puisqu'elles nous montrent s'il se fatigue vite ou non et s'il gagne beaucoup ou peu par l'exercice. Tous ces points sont loin d'être élucidés complètement par les recherches précédentes ; elles constituent simplement des indications pour d'autres recherches nouvelles qu'il faut entreprendre sur un grand nombre de sujets en variant autant que possible la nature des travaux intellectuels.

CHAPITRE IV

RECHERCHES DE LABORATOIRE

INFLUENCE DU TRAVAIL INTELLECTUEL SUR LES TEMPS DE RÉACTION, SUR LA VITESSE DES ADDITIONS ET SUR LA MÉMOIRE DES CHIFFRES

Parmi les recherches de laboratoire, l'une des plus méthodiques est celle de Bettmann [1] ; cet auteur a étudié comparativement les effets psychiques produits par un travail intellectuel (une heure d'additions) et ceux produits par une marche de deux heures.

Pour déterminer les effets psychiques il a choisi la durée des réactions de choix et des réactions verbales, la vitesse de la lecture, la vitesse des calculs et la vitesse avec laquelle on peut apprendre par cœur des séries de chiffres.

Voici comment il prend les réactions de choix et les réactions verbales. On dit à la personne qui est soumise aux expériences que l'on prononcera l'une des deux voyelles *o* ou *e* ; dès qu'elle entendra *o* elle devra faire un mouvement avec la main *droite*, et dès qu'elle entendra *e* un mouvement avec la main *gauche ;* un dispositif spécial permet de mesurer le temps qui s'écoule entre la prononciation de la voyelle et le mouvement exécuté par la personne ; ce temps, qui est appelé *durée de la réaction de choix*, est mesuré avec une précision d'un millième de

[1] Bettmann. *Ueber die Beeinflussung einfacher psychischer Vorgänge durch körperliche und geistige Arbeit* (Psychologische Arbeiten). I, p. 152-208.

seconde. On prend un certain nombre de ces réactions et puis on calcule la moyenne de ces nombres ; de cette façon on évite l'influence des causes d'erreur fortuites qui peuvent soit augmenter soit diminuer la durée d'une réaction, et on obtient la durée moyenne des réactions de choix.

Pour les réactions verbales les conditions sont un peu différentes : on prononce un mot quelconque, et la personne doit répéter ce mot aussi vite qu'elle le peut ; on mesure comme précédemment le temps qui s'écoule entre la prononciation du mot et sa répétition.

L'auteur prenait 300 réactions de choix, ce qui exigeait environ une demi-heure de temps ; ces 300 réactions étaient prises à certains jours sans être précédées par un travail psychique ou physique, puis à d'autres jours on prenait ces réactions à la même heure après une heure de calculs, et enfin à d'autres jours encore après deux heures de marche ; de cette façon on calculait des durées de réactions normales obtenues les jours de repos et on pouvait par comparaison connaître l'influence produite par le travail intellectuel et par la marche de deux heures. On pouvait supposer que la durée des réactions ne serait pas la même au commencement de la série, au milieu et à la fin ; pour éviter ce soupçon, l'auteur a divisé chaque série de 300 réactions en cinq groupes de 60 réactions chacun, et a calculé la moyenne pour chaque groupe.

Nous donnons dans le graphique 81 les résultats obtenus ; nous avons marqué par des points les réactions de choix au repos, par des croix celles après le travail intellectuel, et enfin par des petits cercles les réactions après une marche de deux heures.

Les ordonnées indiquent les durées moyennes des réactions exprimées en millièmes de seconde ; chaque point indique la durée moyenne d'un groupe de 60 réactions de choix. Ainsi par exemple le graphique montre que pour le jour de repos la moyenne des 60 premières réactions de choix est égale à 308 millièmes de seconde, la moyenne

des 60 suivantes à 270, celle des 60 suivantes à 275, etc. Le jour où on a fait des calculs pendant une heure et où on a pris ensuite les 300 réactions de choix, la moyenne des 60 premières est égale à 372 millièmes de seconde, celle des 60 réactions suivantes est égale à 405, etc. Enfin le

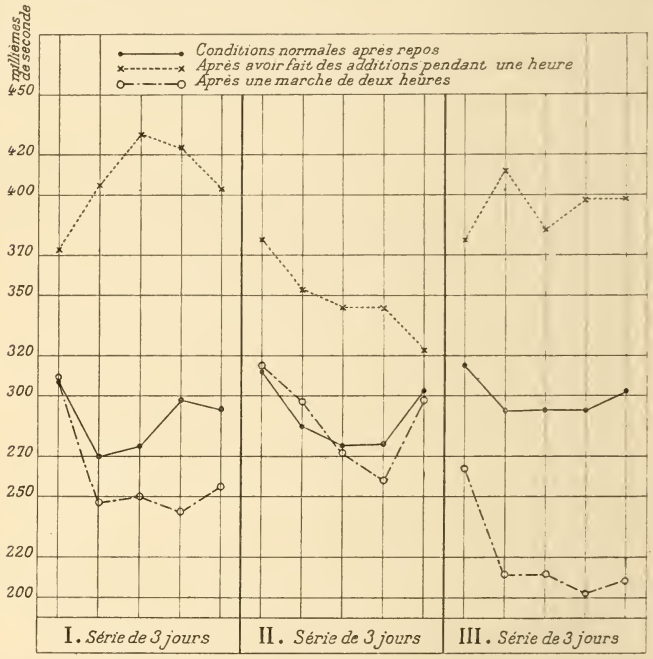

Fig. 81. — Ce graphique représente l'influence du travail intellectuel et du travail musculaire sur la durée des réactions de choix. Après un travail intellectuel d'une heure les réactions deviennent plus longues qu'à l'état normal ; après une marche de deux heures elles sont plus courtes.

jour où on a pris les réactions après deux heures de marche la moyenne des 60 premières réactions est égale à 310, celle des 60 suivantes à 248, etc.

Il a été fait en tout trois séries de trois jours chacune ; on voit nettement par le graphique précédent que la ligne en pointillé qui réunit les moyennes des réactions après le travail intellectuel, est toujours au-dessus de la courbe

normale, c'est-à-dire que les réactions de choix deviennent plus longues sous l'influence du travail intellectuel, qui a consisté dans des calculs faits pendant une heure. Tout au contraire, à la suite d'une marche de deux heures les réactions de choix sont devenues plus courtes ; il semblerait donc qu'une marche améliore les conditions pour les processus psychiques aussi simples que ceux qui entrent dans une réaction de choix. En réalité il n'en est pas ainsi ; en effet l'auteur a observé que le sujet faisait souvent des erreurs à la suite de la marche de deux heures, il faisait le mouvement avec une main trop tôt, ou bien il faisait le mouvement avec la main droite au lieu de le faire avec la main gauche ; en somme le sujet se trouvait dans un état d'énervement musculaire qui amenait une incoordination dans les mouvements.

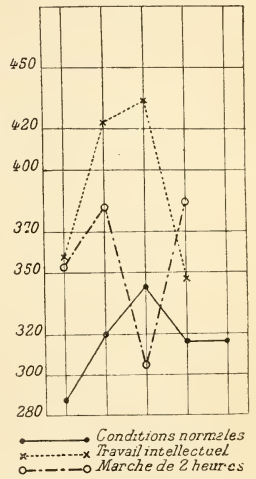

Fig. 82. — Influence du travail intellectuel et musculaire sur la durée des réactions verbales. Après un travail intellectuel d'une heure la durée des réactions est augmentée ; elle l'est aussi après une marche de deux heures, mais moins.

Pour les réactions verbales on prenait 50 réactions et on calculait la moyenne de ces 50 réactions. Le graphique 82, analogue au précédent, indique les résultats obtenus pour cinq jours de repos, pour quatre jours avec travail intellectuel et pour quatre jours avec marche de deux heures. Ce graphique montre que le premier jour de repos la moyenne des réactions verbales était égale à 288 millièmes de seconde, le deuxième jour de repos elle est de 320, etc. ; le premier jour avec travail intellectuel elle est égale à 358 millièmes de seconde, le deuxième jour avec travail elle est de 425, etc. ; enfin, pour le premier jour avec marche elle est de 357, pour le deuxième jour avec marche de 383, etc.

On voit que sous l'influence du travail intellectuel la durée des réactions verbales augmente ; sous l'influence de la marche de deux heures cette durée augmente aussi, mais moins.

Ces recherches ont une importance considérable au point de vue des méthodes, elles indiquent que la méthode des réactions est assez sensible pour traduire l'influence produite par un travail intellectuel ou physique ; il resterait à voir si cette méthode des réactions ne pourrait pas être appliquée dans les écoles ; c'est une des questions dont on s'occupe en ce moment.

Pour étudier l'influence produite par le travail intellectuel ou physique sur la facilité avec laquelle on apprend par cœur, l'auteur s'est servi de la *mémoire des chiffres*. Le sujet devait apprendre par cœur des séries de douze chiffres chacune ; il devait lire une série jusqu'à ce qu'il pût la répéter de mémoire, puis il passait à une deuxième série, et ainsi de suite pendant une demi-heure. On faisait ces expériences à des jours de repos, puis à des jours où on avait fait des calculs pendant une heure, enfin à d'autres jours après une marche de deux heures.

Le graphique suivant représente les résultats obtenus. Chaque point indique le nombre de chiffres appris par cœur en une demi-heure ; ainsi, on voit que le premier jour, avec repos, on a appris 465 chiffres, le deuxième jour 565, le troisième jour 615 chiffres, etc. ; de même, le premier jour, avec travail intellectuel, on a appris 475 chiffres, le deuxième jour 415, etc. ; enfin, le premier jour, avec marche de deux heures, on a appris 405 chiffres, le deuxième jour 405 chiffres aussi, etc.

En examinant le graphique 83, on voit que la ligne qui correspond aux jours de repos monte continuellement ; ceci indique une influence considérable produite par l'exercice ; ainsi, le premier jour de repos, on n'apprenait que 465 chiffres en une demi-heure, et le dernier jour de repos on en a appris 655. Il faut tenir compte de ce que les jours

de repos alternent avec des jours de travail intellectuel et des jours de marche de deux heures, de sorte que ce

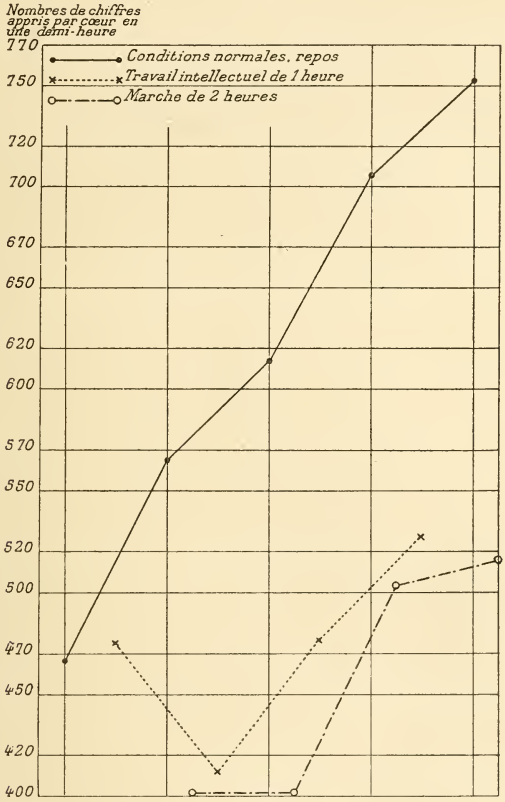

Fig. 83. — Influence du travail intellectuel et du travail musculaire sur la mémoire des chiffres. On apprend moins vite qu'à l'état normal après un travail intellectuel d'une heure, et encore moins vite après deux heures de marche.

gain dans la vitesse d'acquisition des chiffres est acquis après onze jours d'expériences.

La ligne pointillée, qui correspond aux jours où, avant d'apprendre les chiffres, on avait fait des calculs pendant une heure, se trouve au-dessous de la ligne normale ; c'est-à-dire que, sous l'influence du travail intellectuel, on perd

un peu la facilité d'apprendre par cœur ; enfin, la courbe qui correspond aux jours avec marche est encore au-dessous de la précédente, l'influence produite par une

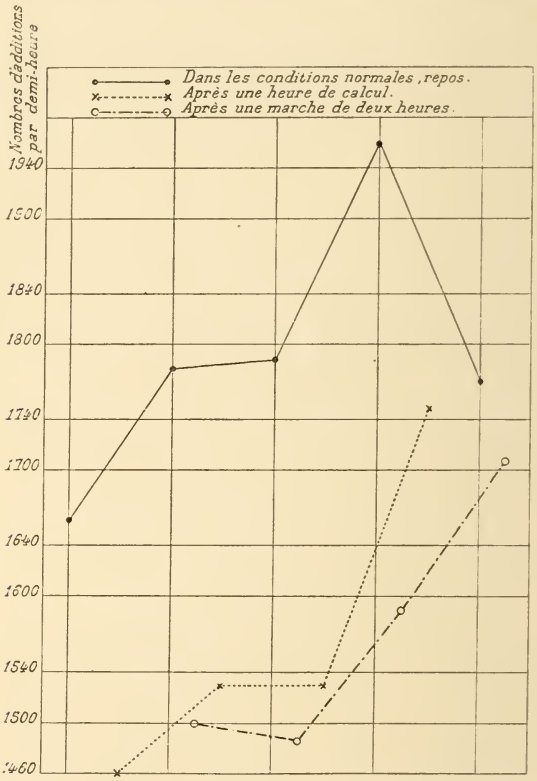

Fig. 84. — Influence du travail intellectuel et du travail musculaire sur la vitesse des additions.

marche de deux heures sur la faculté d'acquisition est plus forte que celle produite par un travail intellectuel d'une heure consistant dans des calculs faciles.

L'auteur a étudié aussi l'influence produite par le travail intellectuel et physique sur des opérations mentales simples, telles que des *additions de nombres* d'un chiffre à des nombres de deux chiffres, et puis la lecture à haute voix de

passages faciles. On déterminait le nombre d'additions que l'on pouvait faire pendant une demi-heure, soit un jour de repos, soit après une heure de travail intellectuel, soit enfin après deux heures de marche. Le graphique 84 représente comme précédemment les résultats obtenus ; on voit, par exemple, que le premier jour de repos, on a fait pendant une demi-heure 1 660 additions, le deuxième jour de repos on en a fait 1 780, etc. ; de même le premier jour avec calcul intellectuel on a fait 1 460 additions, etc., enfin, le premier jour avec marche, on en a fait 1 500, etc.

On voit nettement sur le graphique que le travail intellectuel diminue le nombre d'additions faites en une demi-heure, et la marche de deux heures le diminue encore davantage. On calcule donc moins facilement après un travail intellectuel ou après une marche ; c'est un résultat auquel on pouvait certainement s'attendre ; mais il est important au point de vue de la méthode, puisqu'il montre que la méthode des additions peut servir pour constater les effets produits par un travail intellectuel ou physique. Nous verrons, dans la suite, que cette méthode a été employée avec profit dans les écoles par plusieurs auteurs.

Enfin, pour étudier l'influence produite par le travail intellectuel ou physique sur la *lecture à haute voix*, on faisait lire à haute voix, pendant un quart d'heure, et on notait le nombre de syllabes lues un jour de repos, un jour avec un travail intellectuel et un jour avec marche. Les résultats sont représentés sur le graphique 85. On voit nettement que, sous l'influence du travail intellectuel, qui a consisté à faire des calculs faciles pendant une heure, la vitesse de lecture diminue considérablement ; ainsi, au lieu de lire 8 500 syllabes comme en un jour de repos, le sujet n'a lu que 7 250 syllabes. Une marche de deux heures influe bien moins sur la vitesse de lecture ; l'influence existe bien, mais elle est très faible.

Ce travail est intéressant à différents points de vue : 1° il

montre qu'un travail physique, tel qu'une marche de deux heures, influe sur différents processus psychiques, quelquefois même plus qu'un travail intellectuel facile d'une heure ; c'est un résultat qui indique nettement l'inexactitude des affirmations que l'on trouve dans la plupart des traités de pédagogie, que les efforts physiques et la gymnastique peuvent servir de repos après ou avant un travail intellectuel. Ce n'est pas exact, on ne peut pas considérer l'individu comme formé de deux parties distinctes, l'une ayant rapport à l'activité physique et l'autre à l'activité mentale ; il existe entre l'activité mentale et l'activité physique une relation très étroite, de sorte que tout changement d'état dans l'une produit un retentissement dans l'autre.

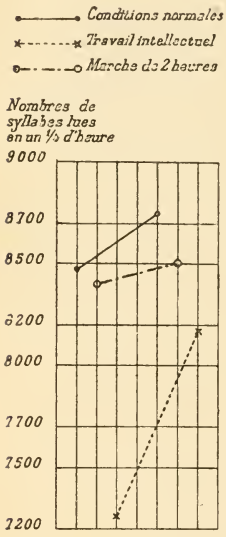

Fig. 85. — Influence du travail intellectuel et du travail musculaire sur la vitesse de lecture.

2° Le travail précédent montre ensuite qu'un travail intellectuel modéré, qui ne fatigue pas beaucoup une personne adulte, produit cependant des effets sensibles, et ces influences sont produites non pas sur des processus psychiques compliqués qui nécessitent une forte concentration d'esprit, mais aussi sur des processus très simples, élémentaires pour ainsi dire, tels que la lecture à haute voix, les réactions verbales ou de choix, et les additions. Or, il est bien plus facile de faire des expériences quantitatives sur ces processus simples que sur des processus complexes ; c'est donc un résultat important au point de vue pratique, puisqu'il montre que l'on peut employer avec profit des méthodes d'expérimentation simples pareilles à celles que nous avons décrites plus haut ; ces méthodes pourront indiquer le degré de fatigue intellectuelle produit par telle cause spéciale.

CHAPITRE V

EXPÉRIENCES DANS LES ÉCOLES

MÉTHODE DES DICTÉES

Nous passons maintenant aux recherches faites dans des écoles pour mesurer la fatigue intellectuelle produite par différentes leçons. Pour étudier la fatigue intellectuelle des élèves on choisit un certain exercice, par exemple une dictée, un calcul, un problème, etc., et on fait exécuter cet exercice avant les classes et après les classes ; les variations dans la vitesse d'exécution et dans le nombre de fautes commises indiquent le degré de fatigue intellectuelle des élèves.

Ces expériences sont en général faciles à faire, puisqu'on peut les faire collectivement ; par exemple on fait une dictée à toute une classe, on donne des calculs à faire à toute la classe, on obtient de cette façon une trentaine de copies en très peu de temps.

En examinant les résultats on peut procéder de différentes manières ; la plus simple est de calculer le nombre de fautes commises dans toutes les copies, on obtient ainsi une moyenne, et lorsque après une certaine leçon cette moyenne change, on peut dire que les élèves de cette classe ont été plus ou moins fatigués suivant que le changement est plus ou moins fort. Dans cette moyenne les résultats individuels sont effacés ; mais il se peut très bien qu'il y ait des élèves qui, après la leçon, ont fait l'exercice aussi bien

qu'avant, qui n'ont par conséquent pas été fatigués ; ces exceptions disparaissent dans cette manière de calculer les résultats.

Cette méthode indique le degré de fatigue intellectuelle pour toute la classe en général ; c'est cette méthode qui doit être d'abord employée, puisqu'il importe avant tout de connaître comment la plupart des élèves d'une classe se fatiguent.

Pour l'examen individuel, on procède autrement : on examine la copie de chaque élève, faite avant la leçon, et celle après, et on peut répartir les élèves d'une classe en plusieurs groupes : ceux qui après la leçon ont exécuté l'exercice mieux qu'avant, ceux qui l'ont exécuté de la même manière dans les deux cas, et enfin ceux qui l'ont fait moins bien après la leçon qu'avant. On peut ensuite examiner de plus près quels sont les élèves de chacun de ces groupes, s'il n'y a pas quelque rapport entre la place dans la classe des élèves et le groupe auquel l'élève appartient, etc. ; c'est en somme un examen tout spécial qui indique les différences individuelles dans le degré de fatigue produite par une leçon déterminée.

Lorsqu'on choisit l'exercice qui devra servir d'épreuve pour le degré de fatigue intellectuelle, il faut prendre quelques précautions. Il faut d'abord autant que possible que cet exercice présente une difficulté presque égale pour les différents élèves ; ainsi on peut bien admettre qu'une dictée présentera pour tous les élèves d'une classe une difficulté peu variable d'un élève à l'autre, mais cette même dictée sera bien plus difficile à faire pour les élèves des classes inférieures que pour ceux des classes supérieures. Or il est probable qu'une même fatigue intellectuelle influe plus sur un exercice difficile que sur un exercice facile.

Par conséquent, si on trouve qu'après une certaine leçon le nombre de fautes dans la dictée a augmenté plus chez les jeunes élèves que chez les plus âgés, on ne peut pas en conclure que les jeunes élèves ont été plus fatigués que les

autres ; la différence peut tenir simplement à ce fait que l'exercice présente plus de difficulté pour les premiers que pour les derniers ; la fatigue intellectuelle peut être la même chez les élèves jeunes et âgés, seulement cette fatigue a une influence plus forte sur un exercice difficile que sur un exercice facile. Nous insistons sur ce point parce qu'aucun auteur n'a remarqué cette cause d'erreur ; on a commis cette erreur un grand nombre de fois et on en a déduit que les élèves jeunes se fatiguent plus que les élèves plus âgés ; c'est une conclusion qui n'est pas encore prouvée.

Il faut que l'exercice que l'on choisit puisse être fait sans trop de difficulté technique, et surtout qu'on puisse facilement compter le nombre de fautes et apprécier la valeur de chaque copie. Si l'exercice est très compliqué, par exemple si c'est une composition à écrire sur un sujet quelconque, il est très difficile et souvent impossible d'exprimer par des nombres la valeur d'une copie ; l'appréciation de la valeur de la composition est très subjective et deux personnes différentes ne classeraient pas de la même façon une série de copies pareilles.

D'un autre côté, il faut que l'exercice présente une certaine difficulté pour l'élève, puisque, s'il est trop facile, on ne fait de faute ni avant la leçon ni après.

Les épreuves que différents auteurs ont choisies sont les suivantes : des dictées faites à toute une classe ; des calculs d'arithmétique tels que des additions et des multiplications que l'on fait faire à des élèves d'une classe ; la mémoire des chiffres ; la méthode de composition d'Ebbinghaus, consistant à faire remplir les lacunes d'un texte ; enfin la sensibilité tactile ; nous passerons successivement en revue les différentes méthodes en indiquant les résultats obtenus.

La méthode des dictées a été employée la première pour l'étude de l'épuisement des élèves ; l'initiative appartient à

Sikorsky[1] ; cet auteur faisait faire à des élèves de différents âges des dictées pendant un quart d'heure le matin, avant les classes, et puis à 3 heures de l'après-midi, après les classes. Les expériences étaient faites en Russie, où les classes ont lieu de 9 heures du matin à midi et de 1 heure à 3 heures de l'après-midi. L'âge des enfants de la première classe est de neuf à dix ans et celui des enfants de la sixième classe de quinze à dix-sept ans.

Quinze cents dictées ont été faites; en les corrigeant l'auteur ne tenait pas compte des fautes dues à l'ignorance des élèves, il ne marquait que les fautes « involontaires ou inévitables qui sont les méprises du langage et de l'écriture ».

Nous reproduisons dans le tableau suivant les nombres de ces fautes commises par les élèves le matin, avant les classes, et ensuite après les classes, à 3 heures de l'après-midi :

	AVANT LES CLASSES	APRÈS LES CLASSES	DIFFÉRENCE
1re classe	123,5	156,7	+ 33,2
2e —	121,5	145,3	+ 23,8
3e —	72,4	102,8	+ 30,4
4e —	66,5	94,2	+ 27,7
5e —	61,4	81	+ 19,6
6e —	45,7	80	+ 34,3

On voit d'abord que le nombre de fautes est plus considérable dans la première classe que dans la sixième; cela tient à ce qu'une dictée est, pour les élèves de la première classe, bien plus difficile à faire que pour ceux de la sixième classe.

Le nombre d'erreurs augmente considérablement après

[1] Sikorsky. *Sur les effets de la lassitude provoquée par les travaux intellectuels chez les enfants à l'âge scolaire.* Annales d'hygiène publique, 1879. p. 458-464.

les classes ; c'est un effet produit par le travail intellectuel que l'on exige des enfants à l'école. Il était intéressant de voir de plus près la nature des fautes commises ; l'auteur classe les fautes en quatre groupes :

1° Les erreurs phonétiques ou d'articulation ; par exem-

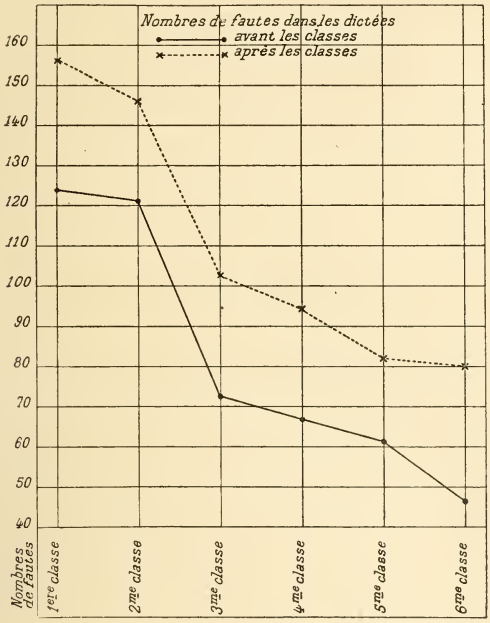

Fig. 86. — Expériences de Sikorsky. Nombre de fautes commises dans les dictées par les élèves de différentes classes avant et après les classes.

ple « *aisi* » au lieu de « *ainsi* » ; « *chabre* » au lieu de « *chambre* » ; « *quetion* » pour « *question* » ; « *pointrine* » pour « *poitrine* », etc.

2° Les erreurs graphiques ; exemple : « *conme* » pour « *comme* » ; « *angétique* » au lieu de « *angélique* ».

3° Les erreurs psychiques, dans lesquelles l'élève omet des mots entiers ou les remplace par d'autres ; exemple : « Vous ne la trouverez pas, *lui répondis-je* » : au lieu de « Vous ne la trouverez pas, *lui dis-je* ».

4° Les erreurs indéterminées, dont le caractère n'a pu être reconnu par suite des ratures.

Voici d'abord les nombres relatifs de ces différentes fautes rapportés à 100. On voit que ce sont les erreurs phonétiques, comprenant surtout des omissions et des substitutions de lettres, qui prédominent sur les autres genres d'erreurs.

ERREURS	AVANT LES CLASSES	APRÈS LES CLASSES
Phonétiques	62,6 p. 100	77,3 p. 100
Graphiques.	8,9 —	11,3 —
Psychiques.	4,5 —	8,9 —
Indéterminées	6 —	11,9 —

En étudiant la nature des omissions commises, l'auteur trouve qu'elles tombent le plus souvent sur les lettres suivantes : *m, c, n, v, l, o, k, d ;* les voyelles sont omises bien plus rarement que les consonnes. Les substitutions les plus nombreuses sont les suivantes : *r-l, p-b, d-n, t-n, b-v, d-t, g-k.* On voit que des sons en apparence très différents l'un de l'autre, comme *d* et *n*, peuvent être substitués l'un à l'autre. Mais en analysant la manière dont se produit l'articulation de ces différents sons on voit que ce sont des sons dont les mouvements d'articulation sont très ressemblants qui sont confondus. C'est un résultat intéressant qui montre d'après l'auteur que sous l'influence du travail intellectuel l'attention s'émousse, et cette diminution dans la force d'attention entraîne une confusion entre des mouvements peu différents l'un de l'autre.

Ce travail montre que la méthode des dictées est assez sensible pour étudier l'influence produite sur l'attention par un travail intellectuel; une analyse minutieuse des erreurs peut même indiquer la nature de cette influence. Bien que ce travail ait été fait en 1879 il est resté complètement

oublié pendant douze années, et ce n'est qu'en 1891 qu'on a repris la question de l'étude expérimentale de la fatigue intellectuelle des élèves.

C'est Höpfner[1] qui a le premier, après Sikorski, repris la méthode des dictées ; seulement, au lieu d'étudier l'influence produite par une certaine leçon, il a voulu examiner comment progresse la fatigue intellectuelle des élèves pendant deux heures d'occupation ; il a fait une longue dictée qui a

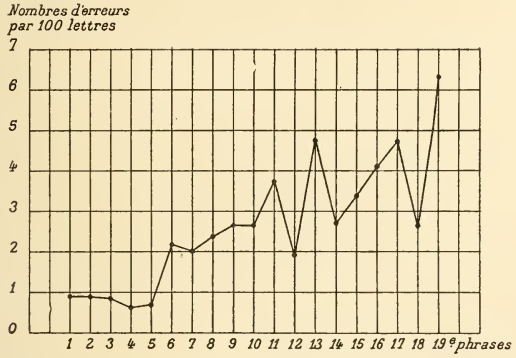

Fig. 87. — Expériences de Höpfner. Nombres d'erreurs par phrase pendant une dictée de 13 phrases ayant duré deux heures.

duré près de deux heures. La dictée était faite à une classe de 50 élèves de neuf ans en moyenne ; elle se composait de 19 propositions dont chacune avait 30 lettres.

Le graphique 87 représente les nombres d'erreurs par phrase, les nombres sont rapportés à 100 lettres ; on voit par exemple que dans la première phrase il y a eu 0,9 erreur sur 100 lettres, dans la dix-neuvième phrase il y en a eu 6,4.

La courbe monte considérablement depuis la première phrase jusqu'à la dernière. Il y a bien quelques irrégularités dans la courbe, mais il faut tenir compte de ce que

[1] Höpfner. *Ueber geistige Ermüdung von Schulkindern. Zeitschrift für Psychologie und Physiolog. der Sinnesorgane*, vol. VI, p. 191-229.

toutes les phrases ne pouvaient pas être choisies absolument équivalentes entre elles. On voit que jusqu'à la cinquième phrase les fautes n'augmentent pas, et que la courbe monte brusquement de la cinquième à la sixième phrase ; cela tient probablement à ce que la dictée des cinq premières phrases a pris une demi-heure, et les élèves de cette classe étaient habitués à faire des dictées de cette longueur qui ne prenaient pas plus d'une demi-heure.

L'auteur a étudié en détail les erreurs ; seulement, au lieu de les classer comme Sikorski, d'après l'origine psychologique des erreurs, il les a classées en se fondant sur leurs caractères externes. Notre parole se compose de phrases, les phrases de mots, les mots de syllabes, et les syllabes de lettres ; sur chacun de ces éléments on peut commettre les erreurs suivantes : lacune de l'un des éléments ; changement de place ; emploi de nouveaux éléments ; substitution d'un élément à la place d'un autre, et enfin une lettre double employée au lieu d'une lettre simple, ou réciproquement.

Les nombres de ces différentes erreurs rapportés à 100 lettres sont les suivants :

PHRASES	LACUNES	EMPLOI de nouvelles lettres.	SUBSTI-TUTIONS	LETTRES doubles ou simples.	CHANGEMENTS de place.
1-4	0,04	0,02	0,25	0,25	0
5-8	0,09	0,02	0,27	0,90	1
9-12	0,28	0,12	0,54	1,04	0
13-16	0,25	0,14	0,36	1,89	1
17-19	0,59	0,21	0,30	1,69	1
Total.	1,25	0,51	1,72	5,77	3

On voit que chacun des genres d'erreur augmente vers la fin. L'auteur examine en détail les lacunes. Il y a eu un total de 69 lacunes qui se composent de :

	DANS LES PHRASES 1-10	DANS LES PHRASES 11-19
Huit mots	2	6
Une syllabe	1	»
Cinquante lettres.	6	44
Quatre parties de lettre. . . .	2	2
Six points à la fin de la phrase.	2	4
Total.	13	56

Les chiffres précédents montrent que les mots entiers sont plus souvent oubliés que des syllabes, les lettres plus souvent que des parties de lettre. La plupart des lacunes portent surtout sur des lettre, il y en a eu 50. Parmi ces 50 lacunes il y en avait 26 au milieu des mots et 24 à la fin ; pas une seule lettre n'a été oubliée au commencement des mots ; or les lettres terminales des mots sont bien moins nombreuses que les lettres du milieu, par conséquent on peut conclure qu'il y a une tendance à oublier les lettres de la fin : c'est le premier signe de l'affaiblissement de l'attention.

Sur les 26 lettres oubliées au milieu des mots il y a 23 consonnes et seulement 3 voyelles ; c'est une observation qui a aussi été faite par Sikorski. En étudiant les lettres oubliées, l'auteur trouve que ce sont les lettres qui ne sont pas bien prononcées par les enfants dans leur langage familier qui sont le plus souvent oubliées ; par exemple *is* au lieu de *ist*, *nich* au lieu de *nicht*, etc. L'enfant, en écrivant la phrase que le maître vient de lui dire, la prononce à voix basse lui-même, et en la prononçant à voix basse il commet des erreurs de prononciation ; lorsque l'attention de l'enfant est encore éveillée, il se rend bien compte que ce qu'il écrit diffère un peu de ce qu'il prononce, mais lorsqu'il est fatigué et que son attention ne peut plus être fixée avec autant d'énergie qu'au commencement il écrit involontai-

rement les mots tels qu'il les prononce ; il y a donc une tendance à *assimiler* les mots et les sons employés par le maître à ceux que l'enfant est habitué à employer lui-même.

En somme, le travail de Höpfner confirme les conclusions trouvées par Sikorski et montre que la méthode des dictées peut être employée dans les écoles avec profit.

L'étude la plus méthodique de toutes qui ait été faite par la méthode des dictées est celle de Friedrich [1], parue en 1896. L'auteur a fait des dictées à des élèves d'une classe de 51 élèves, dont l'âge était de dix ans en moyenne ; chaque dictée se composait de 12 propositions, et chaque proposition de 25 lettres, la durée d'une dictée était de trente minutes. Les dictées étaient faites aux heures suivantes :

1° Le matin, à 8 heures, avant les classes ;

2° Après une heure de classe le matin ;

3° Après deux heures de classe, avec une récréation de huit minutes entre les deux heures ;

4° Après deux heures de classe sans récréation ;

5° Après trois heures de classe le matin, avec deux récréations de quinze minutes chacune entre la première et la deuxième et entre la deuxième et la troisième classe ;

6° Après trois heures de classe, avec une seule récréation de quinze minutes entre la deuxième et la troisième heure ;

7° Après trois heures de classe sans récréation ;

8° A 2 heures, avant les classes de l'après-midi ; les classes du matin se terminaient à 11 heures, et le jour où on faisait les expériences les élèves n'avaient pas de devoirs à faire pour les classes de l'après-midi, de sorte qu'ils avaient trois heures de récréation (de 11 à 2 heures) ;

9° Après une heure de gymnastique, l'après-midi ;

10° Après deux heures de classe, l'après-midi, avec une récréation de quinze minutes entre les deux heures ;

[1] Friedrich. *Untersuchungen über die Einflüsse der Arbeitsdauer und der Arbeitspausen auf die geistige Leistungsfähigkeit der Schulkinder. Zeitsch. f. Psycholog. und Physiol. der Sinnesorgane,* vol. XIII, p. 1-53.

11° Après deux heures de classe, l'après-midi, sans récréation entre les classes.

Le même jour on ne faisait jamais deux épreuves, et toute l'étude embrasse une durée de six semaines.

Les résultats obtenus sont représentés par le graphique 88 : on voit par exemple qu'avant les classes le matin

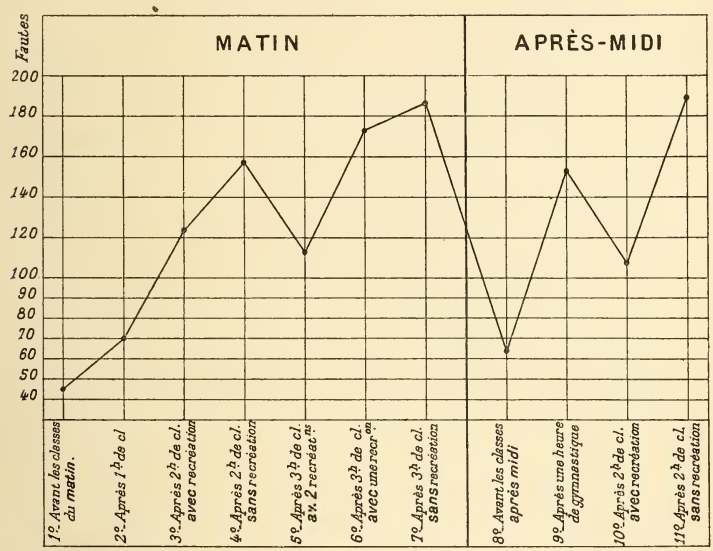

Fig. 88. Expériences de Friedrich. Nombres d'erreurs dans les dictées faites à différentes heures de la journée dans une classe de 51 élèves.

on a fait 47 fautes dans toute la classe de 51 élèves, après une heure de classe on en a fait 70, etc.

Il y a eu d'autant plus de fautes que le travail intellectuel a été plus long, et surtout on remarque une augmentation du nombre de fautes lorsque entre les classes il n'y avait pas de récréation ; ainsi par exemple, après deux heures de classe avec récréation entre la première et la deuxième heure, il y a eu 122 fautes ; après deux heures sans récréation, il y en a eu 158 ; après trois heures de classe avec deux récréations, il y a eu 112 erreurs ; après trois heures

de classe avec une récréation entre la deuxième et la troisième heure, il y en a eu 172, et enfin après trois heures de classe sans interruption il y en a eu 183. Les récréations ont donc une influence considérable qui se fait sentir même une ou deux heures après.

L'un des résultats les plus intéressants est celui qui ressort de l'examen de la courbe de l'après-midi. On voit d'abord qu'à 2 heures de l'après-midi, lorsque les élèves n'ont pas eu de classe de 11 heures à 2 heures, c'est-à-dire après trois heures de repos, le nombre de fautes était égal à 62, tandis que le matin avant les classes il n'était que de 47 ; par conséquent les élèves n'étaient pas aussi reposés à 2 heures que le matin, un repos de trois heures n'a pas suffi pour rétablir complètement leur activité mentale ; c'est un résultat important au point de vue de la question du surmenage intellectuel ; en effet, on considère en général comme nécessaire, pour éviter les effets de surmenage, que le repos de quelques heures ramène l'activité mentale à son état normal ; dans le cas présent cette condition n'est pas remplie ; nous y reviendrons plus loin en parlant du surmenage mental.

Un autre fait important, qui ressort de l'examen de la courbe de l'après-midi, est l'influence produite par une heure de gymnastique ; en général on considère la gymnastique comme un repos pour l'esprit, l'expérience présente prouve nettement le contraire ; avant la classe de gymnastique le nombre de fautes était de 62, et il est monté à 152 après une heure de gymnastique ; c'est une augmentation plus considérable que celle produite par une heure de classe ordinaire. Ce fait vient confirmer avec beaucoup de force le résultat obtenu dans les laboratoires par Mosso et Bettmann ; on aurait pu peut-être croire que les expériences de laboratoire sont faites dans des conditions artificielles qui ne peuvent jamais se présenter à l'école, et que chez les élèves les effets seraient différents ; mais, dans le cas présent, d'abord on a une classe de gymnastique ordinaire telle

qu'on la fait toujours ; en outre, pour éprouver la fatigue intellectuelle, on fait faire aux élèves un exercice qui leur est bien habituel, c'est une simple dictée d'une demi-heure, et sur cet exercice habituel on remarque une influence très forte. Il serait temps que les pédagogues et les instituteurs fissent attention à ce fait important ; qu'ils se rappellent bien ce résultat démontré maintenant, et dans les laboratoires et sur des élèves à l'école, que tout effort physique prolongé diminue l'activité mentale de l'individu et peut même amener une fatigue intellectuelle, que pour se reposer après un travail intellectuel il ne faut jamais faire de grands efforts physiques, comme on le fait encore souvent en vertu d'une tradition bien ancienne ; cette tradition, il faut la combattre continuellement.

Friedrich a aussi fait l'examen individuel des copies, il a compté le nombre d'élèves qui ont écrit la dictée sans fautes, puis le nombre de ceux qui ont commis une erreur,

ÉPOQUE DE LA DICTÉE	0 faute.	1 faute.	2 fautes.	3 fautes.	4 fautes.	5 fautes.	6 fautes.	7 fautes.	8 fautes.	9 fautes.	10 fautes.	11 fautes.	12 fautes.	13 fautes.	14 fautes.	15 fautes.
Avant les classes le *matin*	37	7	2	2	1	»	2	«	»	»	»	»	»	»	»	»
Après 1 heure de classe	31	1	7	6	5	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
— 2 heures *sans* récréation	18	2	13	6	5	5	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»
— 2 heures *sans* récréation	14	4	9	8	5	5	2	2	2	»	2	»	»	»	»	»
— 3 heures avec 2 récréations	18	11	10	1	6	1	1	1	»	»	»	»	»	»	»	»
— 3 heures avec 1 récréation	12	2	9	11	2	7	3	3	1	1	»	»	»	»	»	»
— 3 heures *sans* récréation	10	3	8	8	6	6	7	1	2	»	»	»	»	»	»	»
Avant les classes de l'*après-midi*	33	8	6	2	1	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Après 1 heure de gymnastique	15	5	11	5	6	2	3	»	3	1	»	»	»	»	»	»
— 2 heures de classe *avec* récréation	23	11	6	4	»	2	2	»	»	2	»	»	1	»	»	»
— 2 heures *sans* récréation	10	8	7	11	3	1	4	2	1	1	»	1	»	1	»	1

et ainsi de suite ; le tableau ci-dessus indique ces différents nombres pour les différentes dictées :

Le nombre d'élèves est toujours égal à 51 ; on voit par exemple que le matin avant les classes il y a eu 37 élèves qui n'ont fait aucune erreur, 7 élèves en ont fait une, 2 élèves ont commis chacun deux fautes, 2 en ont commis chacun trois, enfin un élève a fait quatre fautes et 2 élèves en ont fait chacun six. Si on examine le tableau on remarque qu'après le travail intellectuel le nombre d'élèves sans fautes diminue, et il diminue d'autant plus que le travail a été plus long ; en somme, les mêmes résultats sont obtenus qu'avec la première méthode dans laquelle on compte le nombre total d'erreurs commises par toute la classe.

Mais il est intéressant de voir que non seulement après un travail intellectuel le nombre d'élèves qui n'ont pas fait de faute diminue, et le nombre de ceux qui ont fait des erreurs augmente, mais encore que la qualité de la dictée diminue aussi de valeur ; ainsi avant les classes le nombre maximum d'erreurs qui a été commis est égal à 6 et après deux heures de classe le nombre maximum d'erreurs dans une dictée est de 8, ce qui indique qu'il y a une baisse générale dans la valeur des copies : ceux qui ont mal fait avant les classes font encore plus mal après les classes.

L'influence produite par la gymnastique est aussi très marquée. En somme, cette méthode de calcul confirme complètement les résultats obtenus par la première méthode.

Nous avons terminé l'exposition des recherches faites par la méthode des dictées ; nous y reviendrons encore une fois lorsque nous aurons passé les autres méthodes en revue.

CHAPITRE VI

EXPÉRIENCES DANS LES ÉCOLES

MÉTHODE DES CALCULS

Quelques auteurs qui se sont occupés de la question de la fatigue intellectuelle des enfants à l'école ont trouvé la méthode des dictées insuffisante, et ils ont remplacé l'exercice de dictée par un autre exercice, celui des calculs. On a surtout choisi des calculs arithmétiques simples consistant dans des additions et des multiplications ; tout dernièrement on a aussi fait faire aux élèves des exercices d'algèbre.

La méthode des calculs a été employée pour la première fois par Burgerstein[1], qui l'a appliquée pour étudier la marche de la fatigue intellectuelle des enfants pendant une heure de travail. Il donnait à faire à des élèves des additions de nombres de 20 chiffres et des multiplications d'un nombre de 20 chiffres par un nombre d'un chiffre compris entre 2 et 6 ; voici par exemple deux problèmes :

$$\begin{array}{r} 2\,8\,7\,0\,3\,4\,2\,8\,9\,5\,1\,6\,9\,2\,4\,0\,8\,1\,5\,9 \\ +\,3\,5\,8\,9\,4\,2\,6\,1\,7\,0\,8\,2\,1\,5\,9\,7\,6\,0\,4\,3 \end{array}$$

et :

$$5\,4\,6\,9\,2\,8\,3\,1\,4\,9\,3\,5\,7\,9\,2\,0\,6\,2\,1\,4 \times 3$$

Les élèves recevaient des feuilles de papier sur lesquelles étaient imprimées les additions et les multiplications à

[1] Burgerstein. *Die Arbeitskurve einer Schulstunde. Zeitschr. für Schulgesundheitspflege.* 1891.

faire, ils faisaient les calculs pendant dix minutes, on ramassait les copies et on en distribuait de nouvelles, ce qui prenait cinq minutes; puis ils calculaient de nouveau pendant dix minutes et on répétait la même chose encore deux fois ; ils avaient donc pendant une heure consacré quatre fois au calcul des périodes de dix minutes chacune.

Les expériences étaient faites sur 162 élèves de 4 classes : 68 filles de onze à douze ans et 94 garçons de douze à treize ans. En corrigeant les épreuves, l'auteur comptait comme erreur tout chiffre du résultat écrit inexactement; ainsi par exemple si l'élève, en calculant la somme 6 893 + 3 108, écrivait 9 991 au lieu de 10 001, l'auteur comptait *trois* erreurs, puisqu'il y avait 3 chiffres inexacts. C'est là un défaut de la méthode ; en effet l'élève n'a en réalité commis qu'une seule erreur, puisqu'il a oublié d'ajouter l'unité des dizaines résultant de l'addition de 8 avec 3. Ce défaut de la méthode a dû influer un peu sur les résultats, mais on peut bien admettre que cette influence est faible et n'a pas d'importance pratique ; il faudrait seulement, dans le cas où on voudrait reprendre cette méthode, tenir compte de la critique que nous venons de formuler. C'est du reste ce qui a été fait dans un travail de Holmes, paru en Amérique. Passons aux résultats obtenus par l'auteur.

SÉRIES DE CALCUL	NOMBRE de chiffres calculés.	NOMBRE de fautes.	NOMBRE de corrections.
I	28.267	851	370
II	32.477	1.293	577
III	35.443	2.011	743
IV	39.450	2.360	968

D'abord la plupart des élèves progressent dans la vitesse des calculs ; le nombre de chiffres calculés augmente du premier intervalle au quatrième, ainsi que le montre le

tableau suivant qui donne les résultats totaux pour tous les 164 élèves. Le nombre de fautes et de corrections augmente aussi du premier intervalle au quatrième ; seulement, tandis que la vitesse des calculs augmente de 40 p. 100

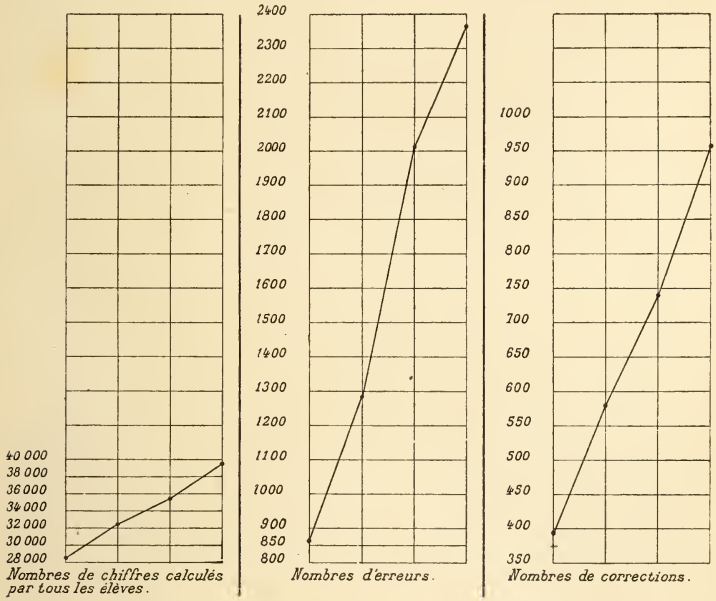

Fig. 89. — Expériences de Burgerstein. Le premier graphique représente le nombre de chiffres calculés par tous les élèves pendant les quatre intervalles de dix minutes. Le deuxième graphique indique les nombres de fautes commises dans ces calculs, et le troisième indique les nombres de corrections. On voit que les deux derniers graphiques montent bien plus vite que le premier, c'est-à-dire que le nombre de fautes augmente bien plus vite que le nombre de chiffres calculés.

de la vitesse initiale, le nombre de fautes devient presque trois fois plus grand.

Représentons ces résultats graphiquement. Il se présente une certaine difficulté ; en effet, comment choisir les différentes échelles pour les nombres de chiffres calculés, les nombres de fautes et les nombres de corrections ? Il faut que l'échelle soit comparable pour ces trois graphiques ; par

conséquent nous construisons trois échelles telles que dans chacune l'augmentation du double soit représentée par le même nombre de divisions. Ainsi nous voyons que pour l'échelle correspondant aux nombres de chiffres calculés chaque division de l'ordonnée correspond à 2 000 chiffres calculés ; pour l'échelle correspondant aux nombres de fautes chaque division correspond à 50, enfin pour les corrections chaque division de l'échelle correspond à 25 ; de cette manière nous rendons les trois courbes comparables entre elles.

On voit nettement que le nombre de fautes croît bien plus rapidement que le nombre de chiffres calculés.

L'augmentation des fautes la plus forte a lieu pour le troisième intervalle ; l'auteur en déduit qu'il faut réduire les leçons d'une heure à des leçons de trente minutes. C'est une conclusion bien hardie et qui n'est guère prouvée ; en effet, l'occupation pareille à celle que l'auteur faisait faire aux élèves ne leur est pas habituelle ; les conditions étaient très artificielles, de sorte que l'on ne peut pas conclure de ces expériences qu'en général les enfants se fatiguent plus rapidement après une demi-heure de travail intellectuel qu'avant. La fatigue produite par une leçon est un fait normal, elle doit se produire si les élèves ont été attentifs, puisque tout effort est accompagné d'une certaine fatigue ; l'essentiel est donc de ne pas constater simplement cette fatigue, mais d'observer si l'individu revient à l'état initial après un repos plus ou moins long, de se demander si la fatigue produite ne passe pas à l'état chronique, au lieu d'être passagère comme toute fatigue normale qui ne nuit pas à l'organisme, mais qui ne fait qu'entretenir ses forces et activer son énergie. On pourrait même prononcer cette affirmation paradoxale que ce n'est qu'en se fatiguant qu'on arrive à se développer aussi bien au point de vue physique qu'intellectuellement ; c'est la fatigue poussée à outrance qui nuit, ce n'est pas la fatigue normale ; on pourrait même écrire un livre inti-

tulé : *Nécessité de la fatigue pour l'hygiène physique et intellectuelle.*

Le travail de Burgerstein peut servir d'exemple pour la plupart des travaux de ce genre ; il semble que les auteurs oublient complètement la nécessité de la fatigue et cherchent à rendre l'enseignement tel qu'il n'y ait aucune fatigue pour les élèves et qu'ils apprennent quand même quelque chose ; cela revient à chercher le mouvement perpétuel.

Des expériences absolument identiques à celles de Burgerstein ont été faites ensuite par deux auteurs, Laser[1] en Allemagne, et Holmes[2] en Amérique. Passons rapidement en revue ces deux recherches.

Laser a fait les expériences sur 226 élèves dont l'âge variait de neuf à treize ans. Il faisait les expériences pareilles à celles de Burgerstein pendant dix minutes après chaque classe du matin. Il y avait cinq classes le matin, de 8 heures à 1 heure, on a donc cinq épreuves différentes.

Les résultats obtenus ne sont pas nets ; on remarque bien, en prenant toutes les classes ensemble, que les nombres de chiffres calculés augmentent du commencement à la fin, ce qui doit être attribué à l'exercice des élèves, et non, comme le veut l'auteur, à une plus grande énergie intellectuelle des élèves après les classes. Le nombre de fautes augmente aussi, et cette augmentation est un peu plus rapide que celle de la vitesse des calculs ; il semble donc qu'il y a un effet très faible produit par les classes.

Voici du reste les chiffres obtenus : par I, II, III, IV, V nous représentons les époques de calcul ; ainsi I représente les calculs faits après la première classe du matin, II ceux après la deuxième leçon, etc.

[1] Laser. *Ueber geistige Ermüdung beim Schulunterrichte. Zeitschr. f. Schulgesundheitspflege.* 1894.

[2] Holmes. *The Fatigue of a School hour. Pedagogical Seminary.* 1895, III, p. 213-235.

ÉPOQUES DE CALCUL	NOMBRE de chiffres calculés.	NOMBRE de fautes.	RAPPORT du nombre de fautes au nombre de chiffres calculés.
I	34.900	1.147	3,28 p. 100
II	40.661	1.460	3,59 —
III	43.124	1.713	3,79 —
IV	43.999	1.796	4,08 —
V	45.890	1.668	3,63 —

Holmes a fait des expériences presque identiques à celles de Burgerstein ; les élèves devaient faire des additions pendant neuf minutes, puis se reposer quatre minutes, puis de nouveau calculer pendant neuf minutes, et ainsi de suite quatre fois ; ceci prenait quarante-huit minutes ; les douze premières minutes de l'heure étaient employées à distribuer aux élèves les feuilles et à leur expliquer ce qu'ils avaient à faire. Sur une feuille étaient imprimées 16 séries d'additions de nombres de 20 chiffres ; l'élève devait faire les additions et puis copier les résultats sur le côté droit de la feuille ; il y avait donc deux genres de processus : les calculs et la copie des séries de chiffres.

Les expériences ont été faites dans 6 classes sur 150 enfants, dont 70 garçons et 80 filles. L'âge des garçons variait de neuf à quinze ans, celui des filles de neuf à dix-huit ans.

Nous rapportons dans le tableau suivant les résultats obtenus :

SÉRIES	NOMBRE de chiffres calculés.		NOMBRE d'erreurs.		NOMBRE de corrections.	
	Garçons.	Filles.	Garçons.	Filles.	Garçons.	Filles.
I	10.362	13.351	210	243	185	152
II	12.151	15.590	262	283	314	264
III	13.161	16.648	471	380	436	396
IV	13.564	17.421	529	465	448	466

On voit que la vitesse des calculs augmente continuellement depuis le commencement jusqu'à la fin de l'heure ; l'augmentation relative la plus forte est au commencement de l'heure.

Les nombres de fautes et de corrections augmentent bien plus que la vitesse des calculs, il y a donc un effet très marqué produit par la fatigue intellectuelle. Ce sont en somme les mêmes résultats que ceux obtenus par Burgerstein, ils montrent que la méthode des calculs peut être employée à l'école pour déterminer le degré de fatigue intellectuelle.

	NOMBRE de chiffres calculés.	NOMBRE d'erreurs.	RAPPORT du nombre d'erreurs au nombre de chiffres calculés.	NOMBRE d'élèves sans fautes
Matin.			P. 100.	
Avant les classes.	9.112	162	1,67	11
Après 1 heure de classe . . .	10.326	243	2,26	10
— 2 heures avec récréation	10.258	277	2,69	5
— 2 — sans récréation.	10.215	300	2,94	6
— 3 — avec deux récréations . .	10.378	275	2,65	7
— 3 — avec une récréation. . .	10.326	331	3,31	1
— 3 — sans récréation.	10.366	326	3,14	4
Après-midi.				
Avant les classes.	10.380	283	2,82	10
Après 1 heure de gymnastique.	9.669	315	3,23	1
— 2 heures de classes avec récréation. .	10.327	316	3,03	6
— 2 — sans récréation.	10.428	358	3,43	4

Friedrich a fait des expériences avec la méthode des calculs dans les mêmes conditions qu'avec la méthode des dictées ; seulement les calculs, au lieu de durer trente minutes comme les dictées, ne prenaient que vingt minutes.

Les résultats obtenus ressemblent beaucoup à ceux obtenus par la méthode des dictées, c'est-à-dire les fautes sont d'autant plus nombreuse qu'il y a eu plus de travail intellectuel avant les calculs. L'influence de l'heure de gymnastique est tout aussi nette ici qu'elle l'était d'après la méthode précédente.

Nous présentons dans le tableau ci-dessus les résultats numériques ; ils sont relatifs à une classe de 51 élèves :

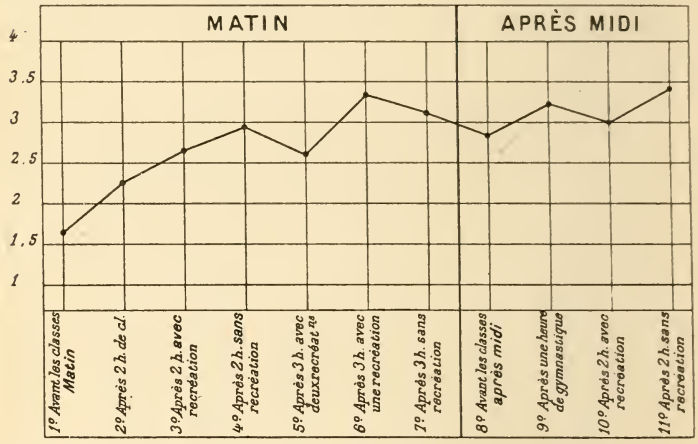

Fig. 90. — Expériences de Friedrich par la méthode des calculs. En ordonnées sont portés les rapports du nombre d'erreurs au nombre de chiffres calculés.

Pour avoir un graphique comparable à celui que nous avons donné pour la méthode des dictées, nous avons porté en ordonnées les rapports du nombre d'erreurs au nombre de chiffres calculés.

Le graphique de la figure 90 ressemble beaucoup à celui que nous avons donné plus haut (fig. 88) ; on voit qu'il y a relativement plus de fautes commises après deux heures de classe qu'après une heure, et plus lorsqu'il n'y a pas de récréation entre les classes que lorsqu'il y en a. L'après-midi, à 2 heures, après trois heures de repos, les élèves n'étaient pas arrivés au même état qu'avant les classes du matin.

Enfin, si on examine le nombre d'élèves qui ont fait les calculs sans faute, on voit que ce nombre est le plus fort le matin avant les classes, et il diminue d'autant plus qu'il y a plus de travail intellectuel.

Un autre genre de calculs a été proposé en 1895 par Richter[1], c'est de donner aux élèves des problèmes d'algèbre et de compter le nombre de fautes avant ou après les classes. L'auteur a fait lui-même un certain nombre d'expériences par cette méthode ; nous les rapportons ici. Les expériences ont été faites au lycée d'Iéna en 1894.

Première série. — Expériences faites le 3 septembre 1894, après la fin des vacances, dans la classe *Untertertia*, qui correspond environ à la troisième classe des lycées en France (âge moyen : treize à quatorze ans).

Le nombre d'élèves était de 21. Les expériences étaient faites avant la première leçon du matin, pendant 44 minutes. On donne aux élèves d'abord 10 problèmes d'algèbre, puis lorsqu'ils ont terminé on ramasse les copies et on donne 10 nouveaux problèmes, et ensuite encore 10 problèmes, ce qui fait en tout 30 problèmes.

Les problèmes étaient dans le genre de ceux-ci :

(1) $13a - 4b - (5c + 2a) - (6a - 4b) - 2c =$

(2) $14a - 6b - (6c + 3a) - (7a - 5b) - 3c =$

(3) $18a + 10a - [8a - (13a + 5b)] =$

Les 10 premiers problèmes étaient terminés au bout de 17 minutes, deux élèves sur vingt et un n'ont pas tout fini. La deuxième série de 10 problèmes a été terminée après 13 minutes trois quarts, tous les élèves avaient fini.

La troisième série a été terminée en 13 minutes.

Par conséquent la vitesse des calculs a augmenté vers la fin de l'heure.

Les nombres de fautes commises étaient égaux à 19,7

[1] G. Richter. *Unterricht und geistige Ermüdung*. Halle, 1895.

p. 100 de calculs faits : ces 19,7 p. 100 se partagent entre les trois séries de la manière suivante :

Ire série	7,8	p. 100
IIe série	5,24	—
IIIe série	6,58	—

Le nombre de fautes a donc diminué dans la deuxième série et un peu augmenté dans la troisième série. Les chiffres varient si peu qu'on ne peut en tirer aucune conclusion.

Deuxième série. — Des expériences analogues aux précédentes ont été faites dans la même classe le jour suivant, pendant la quatrième leçon du matin.

La vitesse des calculs est indiquée par le nombre de minutes au bout desquelles les calculs ont été terminés :

Ire série	13	minutes.
IIe série	14	—
IIIe série	12	—

Les nombres de fautes sont les suivants :

Ire série	3,9	p. 100
IIe série	5,4	—
IIIe série	5,8	—

On voit que les fautes augmentent vers la fin de l'heure ; il semble donc que les élèves ont été fatigués pendant cette deuxième série d'expériences.

Des résultats analogues ont été obtenus par cette même méthode dans une autre classe.

Le défaut que cette méthode de Richter a en commun avec celle des calculs arithmétiques est de faire une trop grande place à l'exercice qui est acquis au bout de quelque temps et qui peut facilement masquer les influences de la fatigue. On devrait chercher à faire les expériences avec

des méthodes dans lesquelles l'exercice n'aurait pas une influence aussi forte, par conséquent, en employant des exercices auxquels les élèves sont déjà habitués ; cette condition est réalisée par la méthode des dictées.

CHAPITRE VII

EXPÉRIENCES DANS LES ÉCOLES

MÉTHODE DE LA MÉMOIRE DES CHIFFRES
MÉTHODE D'EBBINGHAUS

Nous arrivons maintenant à un travail d'ensemble paru il y a quelques mois, qui a été fait parallèlement par trois méthodes différentes : les calculs, la mémoire des chiffres et la méthode de combinaison ; c'est le travail le plus complet qui ait été fait jusqu'ici sur la question [1] ; nous nous arrêterons avec plus de détails sur cette recherche, car elle a été entreprise pour un but complètement pratique, celui de déterminer si la méthode d'enseignement allemande n'amène pas une fatigue trop forte chez les élèves.

Le magistrat de la ville de Breslau adressa en juillet 1895 une lettre à la Société d'hygiène, en priant cette société d'examiner si le système d'enseignement allemand, qui consiste à faire le matin, de 8 heures à 1 heure, cinq classes de suite, et à laisser l'après-midi complètement libre, ne fatigue pas les élèves. Une commission formée de médecins, de pédagogues et du psychologue Ebbinghaus discuta les méthodes employées jusqu'alors pour déterminer expérimentalement la fatigue des élèves, et accepta après ces discussions la proposition faite par Ebbinghaus ; cet auteur proposait de faire exécuter par les élèves des calculs analogues à ceux de Burgerstein, puis de faire des

[1] Ebbinghaus. *Ueber eine neue Methode zur Prüfung genstiger Fähigkeiten und ihre Anwendung bei Schulkindern.* Zeit. f. Psych. u. Phys. d. Sinn., XIII, p. 401-460.

expériences sur la mémoire des chiffres et enfin de faire remplir les lacunes d'un texte incomplet.

La commission avait toutes les facilités de travail, elle pouvait faire des expériences dans toutes les classes du lycée de garçons et du collège de jeunes filles de Breslau ; mais au lieu de profiter de cette occasion excellente et de faire des expériences très variées pour arriver à des conclusions importantes sur la fatigue des enfants, elle arrêta d'avance un plan précis sans savoir si ce plan pouvait donner quelque chose ou non, et elle rassembla douze mille copies, qui furent étudiées ensuite. Ce n'est pas ainsi qu'il faut procéder, et nous insistons sur cette critique pour que, si l'occasion se présente encore une fois, on ne recommence pas la même erreur ; il faut, avant d'entreprendr des milliers d'expériences, voir d'avance si ces expériences peuvent donner quelque chose ou non ; il faut, comme on le fait dans toutes les sciences expérimentales, faire des essais, prendre une classe par exemple et faire toutes les expériences sur cette classe, puis examiner ces résultats partiels, et seulement dans le cas où ces résultats sont satisfaisants se décider à faire les expériences sur une vaste échelle. Ce n'est qu'en procédant de cette façon que l'on peut espérer arriver à des résultats importants ; la commission ne l'a pas fait et elle n'a pas obtenu de résultats nets sur la fatigue des élèves. C'est une faute de méthode très grave qu'il faut d'autant plus regretter que c'est pour la première fois que les autorités s'adressent à une commission spéciale en la priant d'étudier l'état de fatigue des élèves et en autorisant des expériences dans un lycée. Le premier échec est toujours le plus sensible ; la réponse que la commission a pu donner au magistrat ne contient que des résultats très vagues sur l'effet produit par l'enseignement du matin, et il est à craindre que cet échec ne produise un mauvais effet sur les autorités.

Passons aux expériences faites par la commission sous l'initiative d'Ebbinghaus.

La première méthode employée est celle des calculs ; les élèves devaient, après chaque classe, faire pendant dix minutes des additions et des multiplications ; on comptait le nombre de chiffres calculés et le nombre d'erreurs.

La deuxième méthode est celle de la mémoire des chiffres. On disait devant une classe une série de 6 à 10 chiffres en prononçant les chiffres avec une vitesse constante d'une demi-seconde par chiffre, et les élèves devaient écrire ensuite la série de mémoire. On faisait ainsi l'expérience avec deux séries de 6, 7, 8, 9 et de 10 chiffres, et on comptait les nombres de fautes commises. On comptait comme une faute tout chiffre oublié ou inexact, et comme demi-faute toute transposition d'un chiffre de la série à une place voisine ; par exemple, si l'élève, au lieu d'écrire 259 417, écrivait 254 917, on comptait une demi-faute ; écrivait s'il 259 617, on comptait une faute entière.

Cette manière de calculer les erreurs est très arbitraire ; on aurait peut-être pu l'admettre si l'auteur avait donné les nombres des différents genres de fautes ; mais il se contente d'indiquer les sommes qu'il a obtenues en ajoutant les fautes entières aux demi-fautes. C'est un défaut qui ne permet pas de vérifier si l'auteur a eu raison de procéder comme nous l'avons indiqué plus haut.

Une erreur bien plus grave que la précédente a été commise par l'auteur dans le choix des chiffres. Il dit qu'on prononçait devant les élèves des séries de *noms de nombres monosyllabiques ;* or en allemand les nombres de 0 à 12 sont des noms monosyllabiques, il y avait donc dans ces séries les nombres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 ; c'est une erreur évidente d'avoir pris aussi les nombres 10, 11 et 12, puisque ces nombres se composent de 2 chiffres chacun et doivent embrouiller les résultats. Cette erreur provient de l'idée préconçue que pour se rappeler une série de nombres on se souvient des noms de ces nombres, et que par conséquent il suffit que ces noms soient monosyllabiques ; ce n'est pas exact, beaucoup de personnes

se rappellent les chiffres en se les représentant visuellement sans faire attention au nom de ces chiffres ; pour ces personnes un nombre de deux chiffres tel que 12 par exemple n'est pas du tout équivalent à un nombre d'un chiffre comme 5. L'auteur ne dit pas comment ses séries étaient formées des 13 nombres indiqués plus haut ; on a le droit de supposer que parmi les séries de six nombres il y en avait qui contenaient 7 ou 8 chiffres, et que parmi les séries de sept nombres il y en avait qui ne contenaient que 7 chiffres. En somme, cette erreur de méthode compromet beaucoup la valeur du travail, puisqu'on ne peut pas être sûr que des séries indiquées comme étant plus longues que d'autres l'étaient en réalité au point de vue du nombre de chiffres ; cette erreur n'aurait pas pu être commise par une personne familière avec les expériences qui ont été faites sur la mémoire en Amérique et en France.

Enfin la troisième méthode employée par la commission est la *méthode des combinaisons ;* on présente aux élèves un texte imprimé dans lequel certains mots manquent ou ne sont pas achevés, des traits indiquent le nombre de syllabes qui manquent ; l'élève doit remplir les lacunes aussi rapidement que possible, il doit tenir compte du nombre de syllabes qui manquent dans chaque lacune et puis les remplir de façon à ce que le sens général du passage ne soit pas altéré. Nous donnons ci-après un exemple analogue à ceux qui ont été présentés aux élèves :

« Depuis plus — mois la santé — mini —, touj — chancel —, était profon — — al — — ; c'était de — lit — mala —, en proie — — cru — doul —, qu'il diri — à la — les armées et — pro — de Cinq-Mars. »

Les calculs faits pour représenter les résultats obtenus par cette méthode sont complètement arbitraires ; on comptait d'abord le nombre de syllabes remplies par les élèves, ensuite on comptait le nombre de lacunes passées par l'élève sans être remplies, ces lacunes non remplies étaient considérées comme des demi-fautes ; ensuite on

comptait le nombre de lacunes remplies inexactement, soit par suite du nombre inexact de syllabes, soit par suite d'une erreur de sens ; ces erreurs étaient considérées comme des fautes entières. On ajoutait le nombre de demi-fautes au nombre de fautes entières et on retranchait cette somme du nombre total de lacunes remplies. Donnons un exemple : un élève remplissait par exemple en dix minutes 80 lacunes, il en avait omis 10 et il en avait rempli inexactement 20 ; l'auteur représente la *quantité* de travail que cet élève a fait par le nombre $80 - \frac{10}{2} - 20$, c'est-à-dire par 55. La *qualité* du travail est représentée par le rapport du nombre de fautes au nombre total de syllabes remplies, c'est-à-dire par le rapport $20 + \frac{10}{2}$ ou 25 à 80, ou bien $\frac{5}{16}$; on représente ce rapport en ramenant le dénominateur à 100, il devient égal à 31,3 sur 100. C'est par le nombre 31,2 que l'auteur représente la valeur *qualitative* de cette copie.

Cette méthode de calcul est complètement arbitraire, l'auteur ne donne que les nombres définitifs ; on se demande si les résultats ne seraient pas différents avec une méthode de calcul différente.

Nous ne rapportons ici que les résultats relatifs à la fatigue intellectuelle des élèves.

La méthode des calculs a donné des résultats analogues à ceux obtenus par les auteurs précédents : le nombre de fautes augmente d'autant plus qu'il y a plus de travail intellectuel ; donnons les résultats moyens pour toutes les classes.

	Avant les classes.	Après 1 heure.	Après 2 heures.	Après 3 heures.	Après 4 heures.	Après 5 heures.
Nombre de chiffres calculés par l'élève . .	183	248	268	272	254	259
Pourcentage de fautes par élève	1,1	1,5	1,6	1,8	1,9	1,9

La méthode de la mémoire des chiffres a donné un résultat inattendu ; on commet moins de fautes après les classes qu'avant. Ce résultat n'indique pas du tout que la mémoire devient meilleure, il indique seulement que l'exercice joue un rôle très important dans ces expériences de mémoire, et cette influence de l'exercice masque les influences produites par la fatigue intellectuelle ; la méthode est donc défectueuse pour déterminer le degré de fatigue intellectuelle. On aurait pu le voir déjà en faisant les expériences sur une ou deux classes, et éviter ainsi une perte de temps inutile ; nous donnons quelques chiffres pour les deux classes extrêmes du lycée de garçons.

	AGE MOYEN	NOMBRE DE FAUTES dans toutes les séries par élève.			
		Avant la 1re leçon.	Après la 1re leçon.	Après la 4e leçon.	Après la 5e leçon.
Classe supérieure. . .	18 ans.	8,5	6,3	5,1	4,7
— inférieure . . .	10,7	22,6	21,0	10,3	15,5

On voit bien que dans la classe inférieure les élèves ont commis plus d'erreurs que dans la classe supérieure ; seulement, après cinq heures de classe le matin, les élèves des deux classes commettent moins d'erreurs qu'avant les classes. C'est bien probablement un effet de la répétition de l'épreuve qui amène une adaptation meilleure de l'élève pour l'expérience et lui permet ainsi de l'exécuter mieux qu'au commencement, malgré la fatigue produite par les cinq classes du matin.

La méthode de combinaison a donné des résultats très vagues, les variations produites par la différence des textes présentés après chaque leçon sont trop considérables et il est impossible de savoir quelle est la part de la variation produite par la fatigue intellectuelle et quelle est celle qu'on doit rapporter à la différence des textes.

Nous donnons ici les chiffres seulement pour sept classes du lycée ; dans ces classes on a employé les mêmes textes ; on faisait l'expérience avant les classes, le matin, et puis après chacune des cinq classes du matin ; le tableau suivant contient les résultats pour chaque classe ; dans chaque cas sont indiqués deux nombres, celui qui représente la *quantité* du travail et puis celui qui représente le nombre de fautes commises ; ces nombres sont calculés comme nous l'avons indiqué plus haut.

CLASSES	NOMBRE D'ÉLÈVES	AGES MOYENS	AVANT les classes		APRÈS 1 heure.		APRÈS 2 heures.		APRÈS 3 heures.		APRÈS 4 heures.		APRÈS 5 heures.	
			Nombre de syllabes.	Fautes.	Nombre de syllabes.	Fautes.	Nombre de syllabes.	Fautes.	Nombre de syllabes.	Fautes.	Nombre de syllabes.	Fautes.	Nombre de syllabes.	Fautes.
Untertertia 1re division	24	14,4	70	5	62	8	66	12	67	12	70	10	67	13
Untertertia 2e division	18	14	55	8	45	16	58	14	56	17	67	14	70	11
Quarta 1re division.	35	13,2	48	9	41	11	53	17	46	28	46	24	59	20
— 2e division.	27	12,4	41	18	38	22	39	32	53	26	50	34	51	20
Quinta 1re division.	27	12,1	47	16	42	22	51	30	46	28	41	35	»	»
— 2e division.	16	11,5	48	18	33	28	47	32	34	33	37	38	»	»
Sexta.	25	10,7	43	15	28	37	32	42	36	28	27	34	28	39

Les chiffres qui indiquent les nombres de syllabes remplies, c'est-à-dire qui indiquent la vitesse avec laquelle l'élève a fait le travail de combinaison, varient d'une manière bien irrégulière, suivant les textes employés ; il est difficile de tirer quelque résultat net de ces chiffres. L'auteur croit remarquer que dans les classes supérieures la quantité de lacunes remplies augmente vers la fin des classes, et dans les classes inférieures elle diminue ; c'est une conclusion qui ne ressort pas nettement des chiffres précédents, elle n'est nullement prouvée.

L'auteur conclut de ces résultats que les jeunes élèves se fatiguent bien plus vite que les élèves plus âgés ; cette

conclusion est encore incertaine ; il est en effet difficile de supposer que le même texte soit aussi facile à remplir pour les élèves de quatorze ans que pour ceux de onze ans, et si l'épreuve que l'on fait exécuter est plus difficile pour les

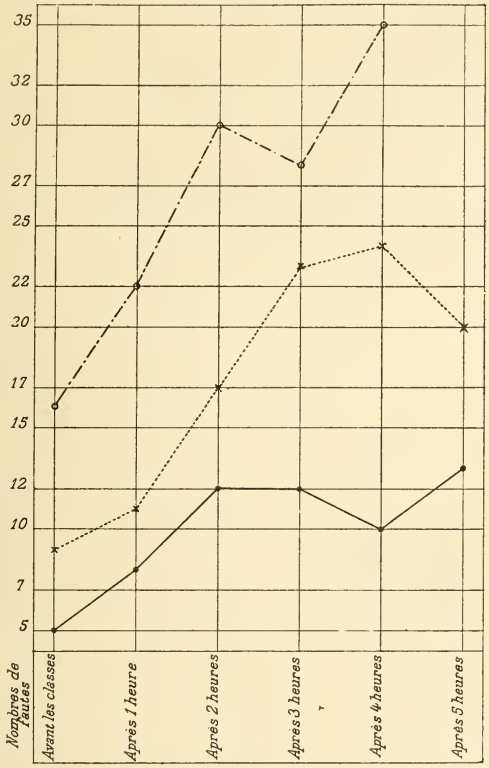

Fig. 91. — Méthode d'Ebbinghaus. Nombre de fautes commises en remplissant les lacunes pour trois classes différentes. On voit que le nombre de fautes augmente après les classes.

élèves jeunes que pour les élèves âgés, il est bien probable que pour une même fatigue intellectuelle l'influence sera plus forte chez les premiers que chez les derniers. En somme l'influence de la fatigue n'est nullement éclaircie par les chiffres qui indiquent la quantité du travail fait par chaque élève.

Les nombres de fautes indiquent au contraire une influence de la fatigue, ils augmentent vers la fin des classes. Nous représentons sur le graphique 91 les nombres de fautes pour trois classes : l'untertertia, première division, la quarta, première division, et la quinta, première division.

Le nombre de fautes est d'abord plus grand dans les classes inférieures ; de plus, il augmente continuellement à

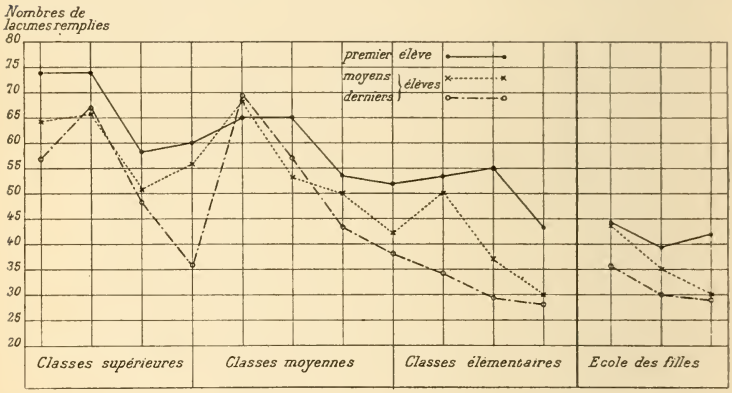

Fig. 92. — Méthode d'Ebbinghans. Nombre de lacunes remplies en dix minutes par les premiers élèves, les élèves moyens et les derniers de chaque classe.

partir de la première leçon jusqu'à la cinquième ; on peut bien en conclure qu'il y a une certaine fatigue intellectuelle chez les enfants et que la méthode d'Ebbinghaus peut servir pour constater cette fatigue, à condition que l'on compte le nombre d'erreurs.

Il est à regretter que l'auteur n'ait pas fait l'analyse psychologique des erreurs commises par les élèves ; cet examen aurait peut-être appris quelque résultat nouveau.

Nous indiquons encore brièvement les résultats que l'auteur a obtenus par sa méthode pour comparer l'intelligence des élèves d'une même classe. Dans chaque classe les élèves étaient partagés en trois groupes suivant le degré

de leur développement intellectuel ; en calculant les résultats l'auteur a additionné le nombre de lacunes remplies par chacun de ces groupes. Nous représentons ces résultats par le graphique 92, dans lequel la ligne pleine (—) indique les résultats des meilleurs élèves, la ligne pointillée (.....) ceux des élèves moyens, enfin la ligne interrompue (—.—.—) ceux des derniers élèves de chaque classe. On voit que la ligne qui indique le nombre de lacunes remplies par les meilleurs élèves est la plus haute, c'est-à-dire que ces élèves ont fait le plus de travail, tandis que les derniers élèves ont fait le moins de travail.

Ces résultats sont très importants, d'autant plus que ni la méthode de calculs ni celle de la mémoire des chiffres ne donnent rien de pareil.

En somme, la méthode d'Ebbinghaus doit être étudiée encore de plus près ; il est possible qu'elle donne des résultats pratiques importants.

CHAPITRE VIII

MÉTHODE DE LA SENSIBILITÉ TACTILE

Lorsqu'on touche la peau avec deux pointes écartées d'un compas, la personne touchée sent bien le contact, mais souvent elle croit percevoir une seule pointe au lieu de deux ; il faut que l'écart des pointes dépasse une certaine valeur limite pour que l'on perçoive nettement deux pointes. Cet écart limite s'appelle *seuil du sens du lieu* de la partie de la peau que l'on étudie. Ce seuil varie beaucoup suivant les endroits de la peau, il est de quelques millimètres (2 à 4) sur la pulpe des doigts, le bout du nez, la pointe de la langue et les lèvres ; il est plus grand (7 à 15 millimètres) sur le front, les joues, le dos de la main, la face dorsale des doigts, etc., enfin il est le plus grand (40 à 60 millimètres) sur l'avant-bras, le bras, le dos, la jambe et la cuisse.

Pour déterminer la valeur du seuil on touche d'abord la peau avec deux pointes très rapprochées ; le sujet sent en général un point ; puis on touche avec deux pointes plus écartées, et on continue ainsi jusqu'au moment où le sujet sent déjà nettement deux pointes ; on note la distance limite, et on recommence la détermination encore trois ou quatre fois. On prend ensuite la moyenne arithmétique entre ces différentes déterminations.

Il faut, en faisant ces expériences, surveiller quelques causes d'erreur : le sujet ne doit pas savoir avec quel écart on le touche, il ne doit pas savoir que les écarts successifs

vont en croissant. Il faut placer les deux pointes simultanément, ne pas presser l'une plus que l'autre ; exercer une pression moyenne toujours la même dans les différentes expériences ; entre deux expériences successives laisser écouler vingt à trente secondes ; noter sur une feuille de papier toutes les réponses données par le sujet ; ne pas le suggestionner, ce qui est très facile dans ces expériences, une simple remarque de la part de l'expérimentateur, un air de surprise, suffisent quelquefois pour suggestionner le sujet.

Lorsqu'on fait ces expériences, on observe que, pour distinguer si le contact est produit avec une ou deux pointes, le sujet doit fortement concentrer son attention sur la sensation tactile perçue ; si on ne peut pas concentrer assez fortement son attention, on ne distinguera pas aussi facilement les deux pointes que si on la concentre fortement. Un auteur allemand, Griessbach[1], a eu l'idée de faire ces expériences sur des élèves pour voir si la force de concentration de l'attention ne variait pas après les classes, vu que toute diminution dans la force de concentration de l'attention se traduit par une augmentation de la valeur du seuil. Il a fait les expériences sur des élèves d'un lycée, sur des professeurs et sur des apprentis mécaniciens.

Les expériences étaient faites sur chaque individu séparément avant les classes, puis après chaque classe, ensuite après quelques heures de repos, et enfin le dimanche à midi. Les résultats obtenus sont très nets.

L'auteur a choisi pour les déterminations du seuil ces six endroits de la peau : le front, le bout du nez, la lèvre inférieure, la pommette, la pulpe du pouce et la pulpe de l'index.

Nous donnons dans le tableau suivant les valeurs numériques pour un lycéen de seize ans :

[1] Griessbach. *Energetik und Hygiene des Nervensystems.* Leipzig, 1895.

PLAN D'ÉTUDES	7 à 8 heures. Mathématiques.		8 à 9 heures. Latin.	9 à 10 heures. Grec.	10 à 11 heures. Religion.	11 à 12 heures. Physique.	12 à 2 heures. Repos.		Dimanche.
Heures de détermination	7 h.	8 h.	9 h.	10 h.	11 h.	Midi		2 h.	Midi
Front.	11	12	14	17	11	15	»	7,5	3,5
Bout du nez . . .	3	3,5	5	5	4	5	»	2,5	1,5
Lèvre inférieure. .	2	3	3.2	4	3	3,5	»	1,8	1
Pommette	11	17	22	23	15	22	»	10	5
Pulpe du pouce. .	6	10	13,5	13,5	9	11	»	5	4
Pulpe de l'index .	2,2	2,5	2,5	2,5	2	2,5	»	1,2	1

Ces chiffres donnent les valeurs du seuil en millimètres ; on voit par exemple que sur le front l'élève distinguait, à 7 heures du matin, les deux pointes pour une distance de 11 millimètres ; après une heure de mathématiques il les distinguait pour 12 millimètres, etc.

On voit nettement que les valeurs du seuil augmentent d'autant plus que le travail intellectuel précédent a été plus intense ; cette augmentation se fait sur toutes les six parties de la peau étudiées ; elle est plus forte sur les parties les moins sensibles, c'est-à-dire celles dont le seuil est plus grand ; ainsi elle est plus forte sur le front et la pommette que sur la pulpe de l'index et sur le bout du nez. Un repos de deux heures ramène la valeur du seuil à la valeur normale. Enfin, le dimanche, les valeurs du seuil sont plus faibles que les jours de semaine avec les classes.

Nous représentons sur le graphique suivant (fig. 93) les résultats compris dans le tableau précédent ; nous avons porté en ordonnées les valeurs du seuil pour le bout du nez, pour le front et pour la pommette. On voit que les trois courbes ont une direction presque parallèle, ce qui indique que les variations dans les valeurs du seuil s'observent sur les trois endroits de la peau de la même manière ; les valeurs du seuil obtenues le dimanche sont bien inférieures à celles

des jours de classe ; enfin, après un repos de deux heures, les valeurs sont même un peu inférieures à celles obtenues le matin à 7 heures ; cette différence peut tenir à l'exercice acquis pendant les expériences faites après chaque classe.

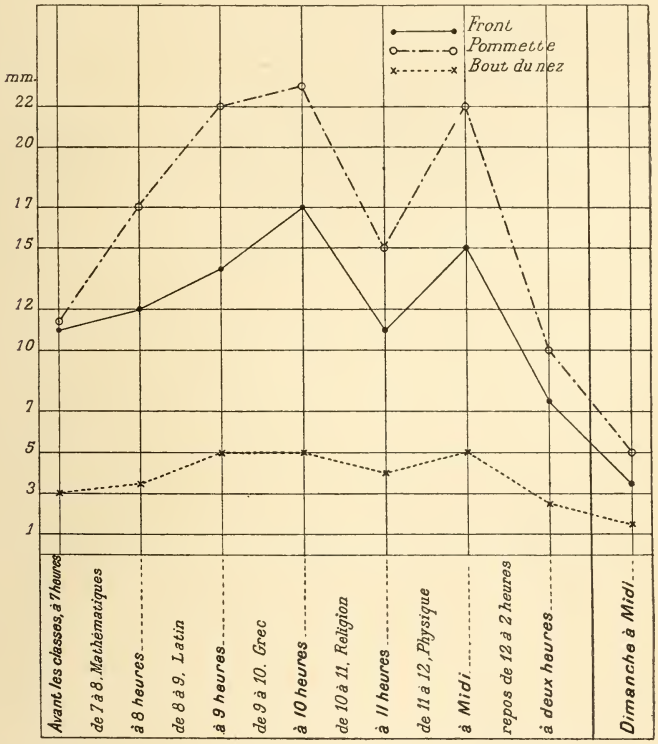

Fig. 93. — Méthode de la sensibilité tactile. Valeurs du seuil pour le front, la pommette et le bout du nez chez un élève aux différentes heures de la journée de travail.

Des expériences qui ont eu lieu après les examens écrits indiquent une augmentation du seuil très considérable ; l'examen écrit durait de 7 heures à midi ; même après cinq heures de repos, la valeur du seuil n'était pas revenue à sa valeur normale, ce qui indique un effet de fatigue très considérable.

Enfin des expériences sur des apprentis mécaniciens obligés de faire beaucoup d'exercice physique ont montré que la valeur du seuil variait à peine sous l'influence d'un travail physique.

Ces expériences ont été refaites dans des conditions analogues, sur une trentaine d'élèves, par un autre auteur. Vannod[1], qui est arrivé à des résultats identiques aux précédents.

On voit par conséquent que la méthode de détermination du seuil du sens du lieu de la peau peut servir avec profit pour constater une fatigue intellectuelle chez des élèves.

[1] Vannod. *La fatigue intellectuelle et son influence sur la sensibilité cutanée.* Dissert. méd. de Berne, 1896.

CHAPITRE IX

COMPARAISON DES DIFFÉRENTES MÉTHODES PSYCHOLOGIQUES POUR ÉTUDIER LA FATIGUE

RÉSUMÉ ET CONCLUSION

Nous croyons utile de donner ici un résumé court des effets psychologiques produits par le travail intellectuel, et d'indiquer quelques conclusions pratiques relativement à la valeur des méthodes.

Les expériences faites dans des laboratoires sur des personnes adultes ont montré qu'à la suite d'un travail d'une heure consistant dans des calculs il se produit un certain nombre d'effets psychologiques élémentaires ; ce sont des modifications dans plusieurs processus psychiques simples qu'il est facile de mesurer expérimentalement. Ainsi la durée des réactions de choix et des réactions verbales augmente ; le sujet ne peut plus lire avec la même vitesse qu'avant le travail intellectuel ; il ne peut plus faire des additions aussi vite ; enfin la mémoire des chiffres est diminuée.

Des expériences nombreuses faites dans les écoles ont montré que la fatigue était d'autant plus forte que le travail intellectuel est plus intense ; c'est un résultat auquel il fallait s'attendre, et le mérite des recherches précédentes ne consiste pas à avoir montré qu'il y a de la fatigue après une ou plusieurs classes, mais à avoir indiqué des méthodes pratiques qui sont assez sensibles pour révéler ces effets

de fatigue ; ces méthodes peuvent être employées avec profit dans des cas où on ne saura pas d'avance si les enfants sont fatigués ou non.

Parmi les différentes méthodes employées, c'est surtout celle des dictées qui doit être préférée aux autres : d'une part, les élèves sont habitués à faire des dictées, il n'y a donc pas à craindre qu'il se produise des effets d'exercice comme cela arrive pour la méthode des calculs, celle de la mémoire, et probablement aussi pour la méthode de combinaison et la sensibilité tactile ; d'autre part, il est facile de compter le nombre de fautes commises dans une dictée ; il ne se présente pas ici d'équivoque comme pour quelques-unes des autres méthodes ; enfin on peut faire une analyse psychologique des erreurs commises par les enfants et déduire de cette analyse la nature psychologique de l'effet de fatigue ; ainsi, par exemple, il est bien probable qu'après une heure de gymnastique les erreurs commises seront d'une nature différente de celles commises après une heure de mathématiques ; il y a là tout un champ d'études complètement inexploré.

La méthode des calculs est moins bonne que celle des dictées : d'une part, l'influence de l'exercice est très forte, de sorte que l'on est réduit à comparer l'augmentation du nombre d'erreurs à l'augmentation du nombre de chiffres calculés ; d'autre part, il est à craindre que les élèves ne prêtent pas également leur attention aux différentes épreuves ; comme ils ne sont pas habitués à faire des calculs aussi longs que ceux que l'on exige d'eux, il est tout naturel qu'ils fassent la première fois les calculs avec beaucoup de zèle, mais la seconde fois ce zèle doit diminuer, et les fois suivantes ce zèle est remplacé par de l'ennui ; il est possible que l'augmentation du nombre de fautes après les classes soit due non à la fatigue intellectuelle, mais à l'influence de l'ennui ; c'est une cause d'erreur difficile à éviter, qui pourtant ne se produit pas aussi fortement dans la méthode des dictées. Enfin on ne peut pas analyser la

nature des erreurs commises dans les calculs, c'est encore un désavantage de cette méthode par rapport à celle des dictées.

La méthode de la mémoire des chiffres a donné jusqu'ici des résultats défavorables, puisque l'influence de l'exercice masque les effets produits par la fatigue intellectuelle; il est vrai que cette méthode n'a été employée jusqu'ici qu'une seule fois, et nous avons vu que les auteurs avaient commis plusieurs erreurs graves de méthode. Peut-être en reprenant cette étude, en faisant les expériences avec beaucoup de soin, arriverait-on à des résultats meilleurs que les précédents.

La méthode de combinaison, dans laquelle on fait remplir les lacunes d'un texte incomplet, présente beaucoup de difficultés pratiques; il est en effet difficile de préparer plusieurs textes équivalents; il y en aura toujours quelques-uns qui seront plus difficiles à compléter que d'autres; de plus, il faut faire des hypothèses arbitraires pour compter le nombre de fautes; on court ainsi le risque de compter inexactement le nombre d'erreurs; enfin il est probable que l'influence de l'exercice est considérable. Il faudra donc, en appliquant cette méthode, ne tenir compte que des écarts considérables; nous en avons vu un exemple pour le nombre d'erreurs avant et après les classes du matin.

Enfin les résultats obtenus avec la méthode de détermination du sens du lieu de la peau sont très nets; on peut donc employer cette méthode parallèlement avec d'autres pour constater une fatigue intellectuelle. La difficulté de cette méthode est qu'il n'y a pas de proportionnalité entre le degré de fatigue et la grandeur du seuil; ainsi, par exemple, si après une heure de classe le seuil d'une partie de la peau est égal à 8 millimètres, et après deux heures à 12 millimètres, on ne peut pas en conclure que la fatigue après deux heures a été une fois et demie plus forte qu'après une heure de classe. Une autre difficulté de cette méthode est la suivante : si le seuil est augmenté, on peut bien dire

qu'il y a une fatigue intellectuelle, mais il n'en résulte pas du tout que toute fatigue intellectuelle produise une augmentation du seuil, la réciproque n'est pas démontrée; il peut très bien arriver que l'élève soit fatigué et que cette fatigue ne se remarque pas nettement sur la valeur du seuil.

En somme, cette méthode présente quelques points incertains, et il ne faudra jamais l'employer seule.

Résumons maintenant dans ce dernier chapitre les résultats principaux qui ressortent des différentes études physiologiques et psychologiques que nous avons décrites longuement dans le courant du livre.

1° Nous avons vu, dans la première partie du livre, que sous l'influence du travail intellectuel il se produit des modifications plus ou moins fortes dans les fonctions physiologiques les plus importantes de l'organisme, telles que la circulation du sang, la respiration, la température du corps, les échanges nutritifs de l'organisme et la force musculaire; un certain nombre de ces modifications se produisent déjà pour un travail intellectuel très court, d'autres n'ont été observées jusqu'ici qu'après un travail prolongé et intense. Dans tous les cas on peut affirmer ce résultat d'une grande importance qu'*aucun travail intellectuel ne peut être exécuté sans retentir sur l'organisme;* la durée et l'intensité de ce retentissement varient suivant le travail intellectuel et suivant la fonction physiologique étudiée.

2° Si on examine pour chaque fonction physiologique ou psychologique les effets produits par le travail intellectuel, on remarque une certaine analogie de ces effets; ainsi, par exemple, après un travail court le cœur s'accélère; si le travail dure assez longtemps, le cœur se ralentit; de même la forme du pouls devient parfois accentuée pendant un travail court, et lorsque le travail dure plusieurs minutes le dicrotisme s'atténue; il en est de même pour l'état des vaisseaux sanguins de la main; au début du travail on a une vaso-constriction, et après quelques minutes une vaso-dilatation; pour la fonction respiratoire le même phéno-

mène se produit, il se produit d'abord une accélération des mouvements respiratoires, et après quelques minutes un ralentissement ; enfin la force musculaire semble aussi être augmentée après un travail intellectuel court, et au contraire diminuée après un travail intellectuel d'une heure. Il semble donc que pour un certain nombre de fonctions physiologiques un travail intellectuel court produit certaines modifications, et un travail intellectuel prolongé produit des modifications opposées aux précédentes.

Pour les effets psychologiques du travail intellectuel, nous avons vu que, lorsqu'on fait un travail continu pendant deux heures, dans les premières trente à soixante minutes la vitesse de travail augmente, et dans le reste des deux heures elle diminue ; cette marche croissante de la vitesse ne se produit pourtant pas dès le début ; en effet, dans les premières cinq à dix minutes la vitesse est supérieure à celle des cinq minutes suivantes, c'est-à-dire la courbe qui représente la marche de la vitesse baisse d'abord un peu, puis monte pendant un certain temps (vingt-cinq à soixante minutes), et enfin, après avoir atteint un maximum, descend continuellement jusqu'à la fin. La petite descente de la courbe au début a été attribuée à cet état d'excitation dans lequel on se trouve lorsqu'on se met à travailler, et que nous avons désigné par le nom de *verve ;* la montée de la courbe a été attribuée à l'excès de l'exercice acquis sur la fatigue, et la descente de la courbe après le maximum à l'excès de la fatigue sur l'exercice. Ce sont des explications hypothétiques qu'il faudrait encore prouver par de nouvelles expériences. Mais ce qui est certain, c'est que lorsque le travail dure environ une demi-heure, la vitesse de travail augmente continuellement, et lorsque le travail a une durée plus longue, elle diminue. Il y a donc ici aussi deux effets opposés.

On se demande naturellement si les effets physiologiques du travail intellectuel ne sont pas dans une certaine relation avec les effets psychologiques, si l'augmentation du nombre

de battements de cœur, l'accélération de la respiration, l'augmentation de la force musculaire, ne sont pas en rapport avec la période de verve ou avec la période d'exercice du travail intellectuel, et si le ralentissement du cœur et de la respiration, la diminution de la force musculaire, ne sont pas en relation avec la période de fatigue du travail intellectuel.

C'est là une question qu'il est impossible de résoudre à l'heure présente puisqu'on n'a pas encore fait de recherches sur les influences physiologiques et psychologiques parallèlement sur les mêmes individus. Il faudrait faire des expériences méthodiques dans lesquelles on observerait simultanément les différents effets psychologiques et physiologiques ; ce n'est que de cette manière que l'on pourra arriver à connaître la signification des différents effets.

Pour mieux se rendre compte de ce qui est fait jusqu'ici nous donnons le tableau suivant, qui peut servir de résumé à tout notre livre (p. 332).

Il nous reste à conclure.

Nous avons, au cours de ce livre, insisté trop souvent sur les lacunes des études que nous avons exposées pour qu'on s'étonne de l'aveu qu'il nous reste à faire à cette place. Cet aveu, c'est que les recherches sur les effets du travail intellectuel ne sont pas encore assez avancées pour qu'on puisse en tirer une conclusion pratique qui soit directement applicable aux écoles. Après avoir dit ce qui a été fait, nous allons déterminer, avec autant de précision que possible, ce qui reste à faire.

D'abord, il faut étudier plus méthodiquement et plus profondément les effets du travail intellectuel sur les différentes fonctions du corps et de l'esprit. Beaucoup de points n'ont encore été qu'effleurés. Pour des fonctions très importantes, comme la pression du sang, la thermométrie, la respiration, on n'a examiné que les effets d'un travail d'esprit très court, durant quelques minutes, et on ignore les conséquences d'un travail intellectuel prolongé pendant plusieurs

heures. Pour d'autres recherches, comme celle de la fonction musculaire, on n'a pas d'observations méthodiques et répétées, mais seulement quelques documents isolés. Enfin, les expériences les plus longues de travail intellectuel ne dépassent pas une après-midi ou au plus quelques jours, et on reste dans l'ignorance de ce qui se produit dans le corps et l'esprit des jeunes gens au cours d'une année complète de travail intellectuel assidu. Ajoutons encore que certaines recherches techniques, comme celles de la sécrétion urinaire et du chimisme respiratoire, ne sont encore qu'ébauchées.

Le second desideratum que nous avons à signaler porte sur la coordination et les rapports réciproques de toutes ces études. Chacune d'elles a été faite jusqu'ici par un auteur différent, qui après avoir choisi son sujet s'y est cantonné avec le plus grand soin, et n'a étudié par conséquent les effets du travail intellectuel que sur une seule fonction et avec une seule méthode ; tel n'a examiné que la sensibilité tactile, tel autre n'a employé que la méthode des dictées, un troisième n'a fait que de la thermométrie, ce qui n'a pas empêché les auteurs de ces études partielles et incomplètes d'en tirer des conclusions tout à fait générales sur l'hygiène de l'esprit. C'est être bien pressé et bien imprudent. Il reste donc, pour compléter toutes ces ébauches, à reprendre la question depuis l'origine, en faisant marcher de front, dans une étude commune, toutes les méthodes qui ont été éprouvées ; cette étude d'ensemble s'impose, malgré les difficultés pratiques qu'elle peut présenter ; il faut non seulement connaître tous les signes physiques et mentaux de la fatigue intellectuelle ; il faut encore savoir à quel moment chacun d'eux se manifeste et quelle est sa valeur ; il faut déterminer si le ralentissement du cœur précède les changements de la pression sanguine, si la diminution de la sensibilité tactile coïncide avec une diminution de l'attention, si les erreurs de mémoire qui sont révélées par les dictées se produisent longtemps après la baisse de la force muscu-

EFFETS PRODUITS PAR LE TRAVAIL INTELLECTUEL

DURÉES DU TRAVAIL INTELLECTUEL	MOINS D'UNE MINUTE	5 MINUTES	15 MINUTES	30 MINUTES	60 MINUTES	90 MINUTES	120 MINUTES	PLUSIEURS HEURES	PLUSIEURS JOURS	PLUSIEURS MOIS
EFFETS PHYSIOLOGIQUES										
Circulation :										
Nombre de pulsations	augm.	augm.	augm.	dimin.	dimin.	dimin.	dimin.	dimin.	—	—
Volume du cerveau	augm.	augm.	—	—	—	—	—	—	—	—
Volume de la main	dimin.	augm.	—	—	—	—	—	—	—	—
Dicrotisme du pouls	—	atten.	atten.	atten.	atten.	atten.	atten.	atten.	—	—
Pression du sang	—	augm.	augm.	—	—	—	—	—	—	—
Respiration :										
Nombre de respirations	augm.	augm.	dimin.	—	—	—	—	—	—	—
Amplitude des respirations	dimin.	dimin.	augm.	—	—	—	—	—	—	—
Acide carbonique expiré	—	—	augm.	augm.	—	—	—	—	—	—
Oxygène absorbé	—	—	augm.	augm.	—	—	—	—	—	—
Température du corps	—	—	augm.	augm.	—	—	—	—	—	—

Système musculaire :										
Muscles des yeux	relâchés	relâchés	relâchés	—	—	—	—	—	—	—
Force musculaire maximum au dynamomètre	augm.	augm.	—	—	—	—	—	—	—	—
Efforts musculaires répétés à l'ergographe	—	—	—	—	dimin.	dimin.	dimin.	dimin.	—	—
Echanges nutritifs :										
Quantité d'urine	—	—	—	—	—	—	—	augm.	augm.	—
Azote de l'urine	—	—	—	—	—	—	—	dimin.	dimin.	—
Acide phosphorique uni aux *terres*.	—	—	—	—	—	—	—	augm.	augm.	—
Acide phosphorique *alcalin*	—	—	—	—	—	—	—	dimin.	dimin.	—
Consommation du pain	—	—	—	—	—	—	—	—	—	dimin.
Poids du corps	—	—	—	—	—	—	—	—	—	dimin.
EFFETS PSYCHOLOGIQUES										
Vitesse du travail intellectuel continu, additions	—	dimin.	augm.	augm.	augm.	dimin.	dimin.	—	—	—
Vitesse du travail intellectuel continu, séries de chiffres par cœur.	—	dimin.	augm.	augm.	dimin.	dimin.	dimin.	—	—	—
Durée des réactions de choix	—	—	—	—	augm.	—	—	—	—	—
Réactions verbales.	—	—	—	—	augm.	—	—	—	—	—
Mémoire des chiffres.	—	—	—	—	dimin.	—	—	—	—	—
Vitesse de lecture.	—	—	—	—	dimin.	—	—	—	—	—
Nombres d'erreurs dans les dictées des élèves.	—	—	augm.	augm.	augm.	augm.	augm.	augm.	—	—
Nombres d'erreurs dans les calculs des élèves.	—	—	augm.	augm.	augm.	augm.	augm.	augm.	—	—
Nombres de fautes en remplissant les lacunes	—	—	—	—	augm.	augm.	augm.	augm.	—	—
Seuil du sens du lieu de la peau	—	—	—	—	augm.	augm.	augm.	augm.	augm.	—

laire. Connaître la valeur de chaque signe de fatigue, c'est savoir quel degré de fatigue il indique, c'est mesurer la fatigue ; or, on ne peut connaître la valeur de ces signes qu'à la condition de connaître leur ordre chronologique. Il y aura donc lieu de suivre sur un même groupe d'individus tous les effets du travail intellectuel, en notant pour chaque effet son mode et sa date de production.

Allons plus loin, et puisque nous sommes en train de tracer un programme d'avenir, supposons que la première partie de ce programme a été réalisée, que nous possédons à l'heure actuelle l'étude d'ensemble dont nous venons de faire comprendre la nécessité. Tout sera-t-il terminé ? Pourra-t-on alors traiter pratiquement la question du surmenage intellectuel ? Nous ne le pensons pas.

Qu'est-ce que le surmenage ? On s'est assez bien entendu sur le sens de cette expression empruntée à la médecine vétérinaire. Le surmenage est une fatigue spéciale, d'une gravité exceptionnelle, un état de fatigue chronique, une fatigue pathologique. Il est facile de présenter des définitions de ce genre ; bien qu'elles soient exactes, en ce sens qu'elles reposent sur une distinction très légitime entre la fatigue normale et saine, qu'on doit rechercher, et la fatigue malsaine, qu'il faut éviter autant que possible, ces définitions sont trop vagues pour qu'on puisse s'en satisfaire, car elles laissent en suspens la question de savoir à quoi l'on reconnaît le surmenage intellectuel, et ce qu'il faut de désordres physiques et moraux pour le constituer, question pratique au premier chef. Jamais, à l'Académie de médecine ni ailleurs, pensons-nous, on n'a discuté sérieusement sur ce point. Il mérite cependant d'être discuté, et même il faut absolument le discuter, avant d'entreprendre des recherches expérimentales. Voici, à notre avis, quelle est la conclusion provisoire qu'on devrait admettre.

La distinction entre la fatigue ordinaire et le surmenage ne doit pas être cherchée dans des symptômes pathologiques, comme le mal à la tête ; car ce symptôme peut manquer

chez certains surmenés et exister chez d'autres qui ne le sont pas. Le caractère distinctif du surmenage est dans le mode de réparation de la fatigue. Une fatigue normale est celle qui se répare d'elle-même, sans qu'on y songe, sans qu'on prenne de précautions spéciales, sans qu'on change la moindre partie de son hygiène. Au contraire, il y a surmenage toutes les fois que la fatigue qu'on éprouve exige pour sa réparation des conditions exceptionnelles. Ainsi, pour prendre un exemple qui nous fera bien comprendre, il est démontré par beaucoup d'expériences qu'après les classes du soir, les enfants de beaucoup d'écoles sont plus fatigués que le matin avant les classes; et, soit dit en passant, les pédagogues qui ont fait cette constatation ont eu le tort d'en conclure que les enfants sont surmenés; à ce compte on ne devrait plus faire travailler les enfants, car tout travail sérieux produit nécessairement un peu de fatigue; mais la fatigue n'est pas le surmenage. Pour qu'on puisse affirmer que des enfants d'école sont surmenés, il faudrait montrer que la fatigue du soir ne se dissipe pas après le repos du soir et après le repos de la nuit, et que par exemple le lendemain matin les enfants qui se remettent au travail sont encore fatigués du travail de la veille, de sorte que la fatigue de la veille s'ajoute à la fatigue du moment et l'aggrave. Voilà un degré de fatigue qui nous semble pouvoir être considéré comme anormal, puisqu'il ne se dissipe pas de lui-même, et que pour le dissiper il faudrait donner aux enfants un repos supplémentaire, par conséquent modifier spécialement leur hygiène. Si des changements doivent en outre être apportés dans la nourriture, ou si des moyens thérapeutiques spéciaux doivent être employés pour réparer la fatigue, on peut encore dire qu'il y a surmenage. Mais nous ne voulons rien écrire là-dessus de définitif, parce que ce sont des problèmes qui ne se résolvent pas en théorie. C'est l'existence du problème que nous nous bornons à signaler.

Pour le résoudre expérimentalement, il faut le subdiviser

en deux parties distinctes : une première recherche devra être faite sur les élèves des écoles et lycées pour rechercher quelle est chez eux la rapidité de réparation de la fatigue, ou en d'autres termes, au bout de quel temps les signes de fatigue qu'on a relevés chez eux disparaissent, comment ces élèves se reposent, quelles sont les circonstances qui favorisent ou qui entravent ce repos. Une seconde recherche devra se proposer de déterminer quelle est la vitesse de réparation qui, d'après l'âge des élèves, doit être considérée comme *normale*, et à partir de quel point il y a réparation anormale, c'est-à-dire pathologique, et par conséquent surmenage.

Nous sommes encore loin, on le comprend maintenant, du moment où il sera possible de traiter scientifiquement le surmenage intellectuel. La question, qui paraissait facile à résoudre, est au contraire hors de notre portée actuelle ; le but auquel nous tendons paraît s'éloigner au lieu de se rapprocher. En réalité, nous nous en sommes rapprochés, puisque nous avons dissipé les illusions et montré quel est l'état exact de la question. Surtout, nous avons aujourd'hui le grand avantage de savoir ce qu'il faut faire. Nous possédons la plupart des méthodes qu'on devra employer ; ces méthodes ont été éprouvées, on en connaît les causes d'erreur et aussi les avantages. La voie est ouverte.

Nous terminons ce livre par le vœu que l'administration française, trop éclairée pour ne pas comprendre l'intérêt supérieur de ces études, se persuade bien qu'on ne résoudra aucun problème pédagogique par des discussions, des discours et des joutes oratoires, et favorise de tout son pouvoir les recherches de psychologie expérimentale dans les écoles !

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos 1

Chapitre I. La discussion sur le surmenage à l'Académie de médecine 7

— II. Définition du travail intellectuel 24

PREMIÈRE PARTIE

EFFETS PHYSIOLOGIQUES DU TRAVAIL INTELLECTUEL

Chapitre I. Influence du travail intellectuel sur le cœur . . 33

— II. Influence du travail intellectuel sur la circulation capillaire 60

— III. Influence du travail intellectuel sur la pression du sang 99

— IV. Influence du travail intellectuel sur la température du corps et la production de la chaleur . 128

— V. Influence du travail intellectuel sur la respiration 146

— VI. Influence du travail intellectuel sur la force musculaire. 167

— VII. Influence du travail intellectuel sur les échanges nutritifs 197

DEUXIÈME PARTIE

EFFETS PSYCHOLOGIQUES DU TRAVAIL INTELLECTUEL

Chapitre I. Généralités 225

— II. Recherches de laboratoire. Variations du travail intellectuel en fonction de la durée. 229

CHAPITRE III. Recherches de laboratoire. Influence des pauses de repos sur le travail intellectuel 262
— IV. Recherches de laboratoire. Influence du travail intellectuel sur les temps de réaction, sur la vitesse des additions et sur la mémoire des chiffres 276
— V. Expériences dans les écoles. Méthode des dictées 285
— VI. Expériences dans les écoles. Méthode des calculs 299
— VII. Expériences dans les écoles. Méthode de la mémoire des chiffres et méthode d'Ebbinghaus. 310
— VIII. Méthode de la sensibilité tactile 320
— IX. Comparaison des différentes méthodes psychologiques pour étudier la fatigue. Résumé et conclusion 325

EVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HERISSEY

Psych.
B612 fa

96313

Author Binet, Alfred

Title La fatigue intellectuelle.

University of Toronto
Library

DO NOT
REMOVE
THE
CARD
FROM
THIS
POCKET

Acme Library Card Pocket
Under Pat. "Ref. Index File"
Made by LIBRARY BUREAU